

LOS PROCESOS SÍSMICOS EN EL VOLCÁN IRAZÚ (COSTA RICA)

Mario Fernández A.¹, Mauricio Mora F.² & Rafael Barquero P.³

- (1) Centro de Investigaciones Geofísicas (CIGEFI), Universidad de Costa Rica, Red Sismológica Nacional (RSN: ICE-UCR)
- (2) Escuela Centroamericana de Geología, Universidad de Costa Rica, Red Sismológica Nacional (RSN: ICE-UCR)
- (3) Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), Red Sismológica Nacional (RSN: ICE-UCR)

(Recibido 23/7/1996; Aceptado 27/3/1997)

ABSTRACT: Faulting of the Irazu Volcano Area is described and correlated with available information about seismic swarms that have occurred there in the last 15 years, in order to know those faults that have been generating such seismic activity. According to epicentral locations, the faults responsible of the known swarms are Elia, Ariete, Irazú, Nubes and Río Sucio. The Irazú's seismic swarms seem to occur in pairs which mean that during the whole period of seismic activity there are two sub-periods of more intense seismicity. This tectonic activity might favor a volcanic eruption because it can open spaces for volcanic liquid and gases to leave.

RESUMEN: Se describe el fallamiento en el área del volcán Irazú, correlacionándolo con la información disponible sobre los enjambres sísmicos que han ocurrido en el macizo volcánico del Irazú en los últimos 15 años, con el propósito de esclarecer las fuentes generadoras de los mismos. Las ubicaciones epicentrales sugieren que las fallas responsables de los enjambres conocidos son Elia, Ariete, Irazú, Nubes y Río Sucio. Los enjambres del Irazú parecen ocurrir en pares lo cual quiere decir que durante el período total de actividad hay por lo menos dos subperíodos de mayor actividad. Esta actividad tectónica podría favorecer una erupción volcánica debido a que puede abrir espacios para que salgan los líquidos y gases volcánicos a la superficie.

INTRODUCCIÓN

El Irazú es un estratovolcán complejo que forma parte de la Cordillera Volcánica Central de Costa Rica y se localiza en las coordenadas 9°59' latitud norte, 83° 51' longitud oeste. Históricamente, las mayores erupciones del Irazú conocidas son: 1723-24 (estromboliana-vulcaniana), 1917-20 (básicamente freática y freatomagmática), 1939-40

(freatomagmática-estromboliana) y 1963-65 (estromboliana - vulcaniana). Otras posibles erupciones de menor envergadura que no están muy bien documentadas son: 1550-60? (incierto, posiblemente muy fuerte), 1775, 1821, 1842, 1909 y 1933. Como resultado se obtiene lapsos de retorno de actividad entre 6 y 67 años, no siempre con la misma intensidad (Barquero et al., 1995). Hay reportes de actividad fumarólica en 1847,

1870, 1880, 1884, 1887 y 1910 (Alvarado, 1989).

Desde el punto de vista geológico, el volcán Irazú forma parte de la Cordillera Volcánica Central, la cual está constituida por grandes macizos volcánicos de edad Cuaternaria, los cuales se alinean de noroeste a sureste. No obstante, otros focos eruptivos más pequeños se alinean en otras direcciones a partir de los cráteres principales.

La sismicidad en áreas volcánicas tiene la particularidad de que podría ser causada por procesos volcánicos y no solamente tectónicos como suele ocurrir en la mayoría de las zonas sísmicas de la corteza terrestre. Por este hecho, hay gran interés en conocer a fondo todo tipo de actividad sísmica en los volcanes, ya que si dicha actividad es originada por procesos internos del volcán se puede tratar de predecir una erupción volcánica, procesando e interpretando adecuadamente la sismicidad y contando con el apoyo de otros métodos de vigilancia volcánica. Un ascenso de magma desde el interior de un volcán hasta la superficie fracturará las paredes del conducto volcánico conforme sube, generando sismos cuyo foco migrará hacia la superficie al mismo ritmo que el magma. Asimismo dicha presión puede generar enjambres en diferentes sectores del macizo que pueden sugerir que el magma esté moviéndose lateralmente o bien que se estén activando fallas cercanas. Entonces, los volcanes no solamente deben ser vigilados de una manera descriptiva, sino que toda actividad sísmica debe ser bien analizada y entendida con el fin de distinguir entre un proceso volcánico y uno estrictamente tectónico.

En el volcán Irazú suelen ocurrir enjambres de temblores que se prolongan por varios meses, entre los cuales hay por lo menos dos picos de máxima actividad, o sea, inicia el enjambre y se llega a un evento de moderada magnitud (magnitud entre 3 y 4), luego decrece la actividad hasta una nueva reactivación de las fallas que produce el evento mayor, a partir del cual la sismicidad empieza a declinar y se mantiene así hasta que desaparece. Estos enjambres en pares se han registrado instrumentalmente en el Irazú en junio-setiembre de 1982 y en enero-junio de 1991.

Debido a que estos enjambres se han repetido en menos de 10 años, es posible que sigan repitiéndose con o sin periodicidad. Dicha posibilidad ha motivado este trabajo, el cual pretende esclarecer las fuentes de los que han sido registrados, correlacionando las fallas cartografiadas en la zona con las distribuciones epicentrales. Se espera que los resultados aquí obtenidos faciliten la interpretación de los futuros procesos sísmicos en la zona, contribuyan con la escogencia de nuevos sitios para la vigilancia sísmica en el volcán y ayuden a detectar o descartar una posible erupción.

FALLAMIENTO

En el área del volcán Irazú hay un sistema de fallas que han jugado y seguirán jugando, un papel importante en los procesos geológicos que se desarrollan en este volcán. La mayoría de estas fallas han sido propuestas recientemente. Es importante indicar que en los cráteres de la cima convergen las fallas más importantes que rodean al volcán. El volcán Turrialba se localiza en medio de un sistema de fallas de dirección noreste. A continuación se da una breve descripción de las fallas localizadas hasta el momento en el macizo volcánico Irazú-Turrialba (Fig. 1).

Falla Río Sucio: Denyer et al. (1993) la consideran como una falla transcurrente. Montero (1993) indica que es un lineamiento moderado, sugestivo de ser falla reciente. Montero & Alvarado (1995) indican que se compone de dos ramales y que se infiere por el contraste morfológico y los fuertes escarpes erosivos alineados a lo largo del cañón del río Sucio.

Falla Alto Grande: También es considerada por Denyer et al. (1993) como una falla transcurrente y por Montero (1993) como un lineamiento moderado, sugestivo de ser falla reciente. Fue nombrada por Montero & Alvarado (1995) quienes afirman que el escarpe de falla desplaza la superficie original del escudo volcánico unos 10 m.; dichos autores indican que la longitud de esta falla varía entre 18 y 30 km.

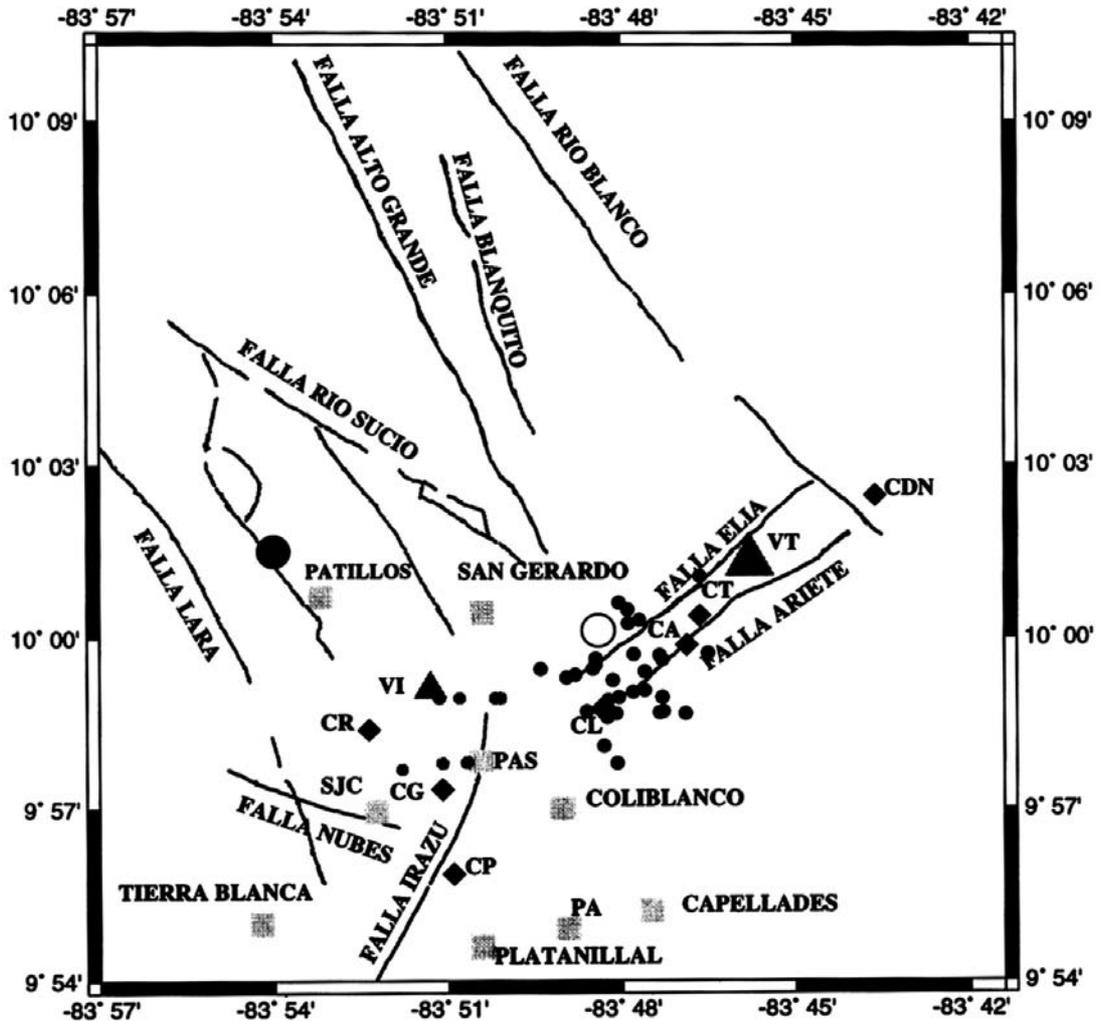


Fig. 1: Enjambre de 1982. Los círculos de color gris son sísmos que ocurrieron en julio y los de color negro en setiembre. Los triángulos representan volcanes, los rombos cerros y los cuadrados localidades. PAS: Pastora, PA: Pacayas, SJC: San Juan de Chicué, CP: cerro Pasquí, CG: cerro Gurdían, CR: cerro Retes, CT: cerro Tiendilla, CA: cerro Armado, CL: cerro Liebres, CDN: cerro Dos Novillos, VI: volcán Irazú y VT: volcán Turrialba. El círculo sin relleno corresponde con las solfataras de la quebrada Gata (Soto, 1988) y el círculo mayor de color negro corresponde con el terremoto de Patillos (1952). Los epicentros se tomaron de Güendel (1985). Un minuto equivale a 1,85 km.

Falla Río Blanco: Soto (1988) traza una falla de dirección noroeste que pasa entre los extremos de las fallas Elia y Ariete y el antiguo volcán Dos Novillos, le asignó apenas cerca de 5 km de longitud y no la continuó más hacia el noroeste debido a que se salía del área estudiada. Posteriormente, Montero & Alvarado (1995) trazan una falla de rumbo noroeste cuyo extre-

mo sureste coincide con el extremo noroeste de la falla trazada por Soto (1988); indican que posee un escarpe con facetas trapezoidales y la denominan Río Blanco. Lo anterior sugiere que las dos descripciones se refieren a una misma estructura y por tanto se acepta el nombre Río Blanco para los segmentos de falla mencionados en Soto (1988) y Montero & Alvarado

(1995), de esta forma la falla tendría aproximadamente 18 km de longitud.

Falla Elia: Es una falla de orientación noreste que atraviesa al volcán Turrialba muy cerca de su cima. Fue determinada por Soto (1988), quien la define con base en el alineamiento noreste de los cráteres ubicados en la cima del volcán Turrialba y el escarpe del río Elia. IBIS la traza hasta el área cratérica pero como el mismo autor indica que las solfataras de la quebrada Gata coinciden con el alineamiento, en este trabajo se ha prolongado aproximadamente hasta el cerro Liebres (CL). Denyer et al. (1993) consideran que esta falla es de tipo normal. Su extensión es 10 km.

Falla Ariete: Atraviesa el macizo volcánico Turrialba al sur de su cráter. Fue cartografiada por Soto (1988) quien la trazó en dos segmentos: el escarpe del río Ariete y el del río Guácimo. En este trabajo se denomina Ariete tomando en cuenta que el Escarpe Ariete se localiza en la parte central de la falla. Es apoyada por una cadena de conos activos y extintos con orientación noreste-suroeste tales como los cerros Liebres (CL), Armado (CA), Tiendilla (CT) y el antiguo volcán Dos Novillos (Alvarado et al., 1986). Denyer et al. (1993) la consideran transcurrente y le asignan 5 km de longitud, pero según Soto (1988), si se considera el trazo desde cerro Liebres hasta el volcán Dos Novillos, la falla tendría 11 km de extensión. Es paralela a la falla Elia y se extiende desde el cerro Liebres hasta el antiguo volcán Dos Novillos. IBIS indica que esta estructura muestra actividad neotectónica, pues corta lavas y piroclastos muy recientes. Montero (1993) la considera un lineamiento sugestivo de ser falla reciente pero le asigna solamente 3 km de extensión.

Falla Irazú: Reportada por primera vez en Barquero (1991). Fue inferida a partir de fotografías aéreas. Montero (1993) la denomina lineamiento Irazú y sugiere la presencia de una falla reciente. Es uno de los más conspicuos alineamientos de orientación norte-sur. Se extiende desde Cot (ligeramente al sur del área) hasta

el cerro Noche Buena (Montero, 1993; Denyer et al., 1993). Paniagua et al. (1993) la prolongan más al norte del cráter. Considerando esta prolongación, su longitud sería de 13 km. Fernández (1995) la considera una falla activa. En el extremo norte de esta falla hay otra paralela a ella la cual se considera parte del mismo lineamiento.

Falla Nubes: Aparece en Barquero (1991). Es de tendencia este-oeste. Montero (1993) la extiende desde San Juan de Chicoá hasta Las Nubes de Coronado y estima que es un lineamiento fuerte sugestivo de ser falla reciente. Denyer et al. (1993) la prolongan por cuatro km a partir de San Juan de Chicué.

Falla Lara: Fue definida por Montero & Alvarado (1995), según valles lineales, valles de falla, escarpes de falla, sillares de falla, estructuras incipientes de cuenca de tracción y estribaciones desplazadas que sugieren una componente dextral en la falla aunque también hay evidencias de levantamiento en el lado oriental de la misma.

Falla Blanquito: Según Montero & Alvarado (1995) es una falla de desplazamiento normal, con escarpes de línea de falla y valles de falla.

LOS ENJAMBRES SÍSMICOS DE 1982

En 1982 ocurrieron dos enjambres sísmicos en el volcán Irazú, el primero en junio y el segundo en setiembre. En junio la Red Sismológica Nacional (RSN: ICE-UCR) reportó cuatro sismos sentidos en localidades cercanas a la cima del volcán Irazú (RSN, 1982), con magnitudes (Md: basada en la duración del evento) que variaron entre 2,0 y 3,4 grados. Estos eventos fueron sentidos en la cima y en San Gerardo, ligeramente al norte del cráter principal. No hubo reportes de los sismos en las localidades ubicadas al sur-sureste de la cima por lo que, considerando tan solo el reporte de las personas que sintieron los movimientos, se logra concluir en forma muy general que los sismos ocurrieron muy cerca de la cima.

En setiembre parece haber ocurrido la mayor actividad sísmica de 1982 en el Irazú, pues la RSN reporta un sismo de magnitud 3,6 en la falla suroeste del volcán Turrialba (RSN, 1982). También reporta, al igual que en junio, cuatro eventos sentidos de magnitud entre 2,5 y 3,6. Las principales localidades de las que se obtuvo reportes de sismos fueron: San Rafael de Irazú, Pacayas, Buenos Aires de Alvarado, La Esperanza y Santa Cruz de Turrialba. Las primeras tres localidades mencionadas están ubicadas al sureste del cráter del Irazú y las dos últimas más cerca del volcán Turrialba. En este caso, los reportes de intensidad sugieren que los principales eventos ocurrieron al este-sureste del cráter activo, entre los dos volcanes (Irazú y Turrialba).

Por medio de un esfuerzo interinstitucional entre la Universidad de Costa Rica, la Universidad Nacional y el Instituto Costarricense de Electricidad se instalaron estaciones sísmicas portátiles en el área crítica con el fin de ubicar los temblores. En este trabajo se han utilizado esos resultados que fueron tomados de Güendel (1985).

En la figura 1 los círculos de color gris representan los epicentros de los eventos localizados en junio de 1982 con las estaciones portátiles mencionadas y como se observa, los eventos se ubican muy cerca de la cima, lo cual guarda estrecha concordancia con los reportes de intensidad. Los eventos localizados son tan pocos que resulta difícil inferir con precisión las fallas que provocaron la actividad, aunque es posible que la falla Irazú (extremo norte), causara sismos durante el enjambre.

El patrón de distribución epicentral cambió totalmente durante el enjambre de setiembre (Fig. 1). Los temblores se concentraron entre los dos macizos volcánicos, específicamente entre los cerros Tiendilla y Liebres. Esto es consistente con los reportes de intensidad, ya que fue al sur de ambos volcanes donde más fuertemente se sintieron los sismos. Con base en las ubicaciones epicentrales se interpreta que las fallas Elia y Ariete originaron estos temblores. Además se confirma que el alineamiento de los cerros Liebres, Armado y Tiendilla se debe al control estructural, en este caso a la falla Ariete, la cual sin

duda se prolonga al menos hasta el cerro Liebres por el suroeste. Los sismos ubicados más al norte del área epicentral sugieren fuertemente actividad en el extremo suroeste de la falla Elia. Güendel (1985) encontró una solución de mecanismo focal compuesto con dirección N46°E de tipo inverso para esta sismicidad; el rumbo encontrado concuerda con la orientación de las fallas Elia y Arietes, no así el tipo de falla, pues según Denyer *et al.* (1993) la falla Elia es de tipo normal y según Soto (1988) este sistema de fallas del volcán Turrialba constituye un graben. Es muy probable que la actividad haya iniciado en la falla Ariete y por los movimientos en ella se activó la falla Elia, hecho que es muy común en la corteza terrestre.

LOS ENJAMBRES DE 1991

Cronología de la actividad:

A partir del 1° de enero de 1991, luego del terremoto de Alajuela (Md 5,7), se registraron eventos volcano-tectónicos en forma continua en el macizo del volcán Irazú. En la primera semana de enero los eventos no fueron reportados como sentidos por la población, pero a partir del día 6 los habitantes de San Juan de Chicué percibieron y reportaron algunos eventos sísmicos. El día 7 de enero se detectaron 95 microsismos, pero desde este día la actividad decayó y no fue sino hasta el 25 de mismo mes cuando resurgió la actividad produciéndose 103 eventos. Durante el mes ocurrieron 932 microtemblores, la mayoría de los cuales no fueron sentidos por la población. Esta actividad fue relacionada por Fernández (1991) con dos fallas ubicadas al sur-sureste del volcán Irazú.

En febrero del mismo año se reportó solamente un evento sentido de esta área, pero ocurrieron 709 microsismos durante ese mes allí (Fernández, 1991).

En abril ocurre el terremoto de Limón (Mw = 7,7) y con ello se desestabiliza nuevamente el fallamiento en el área. En ese mes ocurrieron dos temblores de magnitud 2,8 y 2,9 que fueron sentidos en Tierra Blanca y Cot (Rojas & Barquero, 1991).

La sismicidad volcano-tectónica en mayo fue abundante; se registraron 1367 sismos durante el mes en la estación ICR de la Red Sismológica Nacional ubicada en la cima del Irazú. De esos temblores, los más importantes alcanzaron magnitudes de 3,5 y 2,9 (Fernández, 1991).

En junio la sismicidad sigue en ascenso registrándose 2896 temblores del área en la estación ICR, lo que constituye el mes de máxima actividad durante los enjambres de 1991.

La duración de la mayoría de estos sismos osciló entre 5 y 10 segundos (Fig. 2), lo cual revela que fueron eventos de magnitud inferior a 2. En este mes se localizaron 11 temblores de magnitud superior a 3, de los cuales tres igualan o superan los cuatro grados. Se reportaron 23 temblores sentidos en el Irazú en este mes (Fernández, 1991). En julio la actividad descendió vertiginosamente hasta desaparecer por completo.

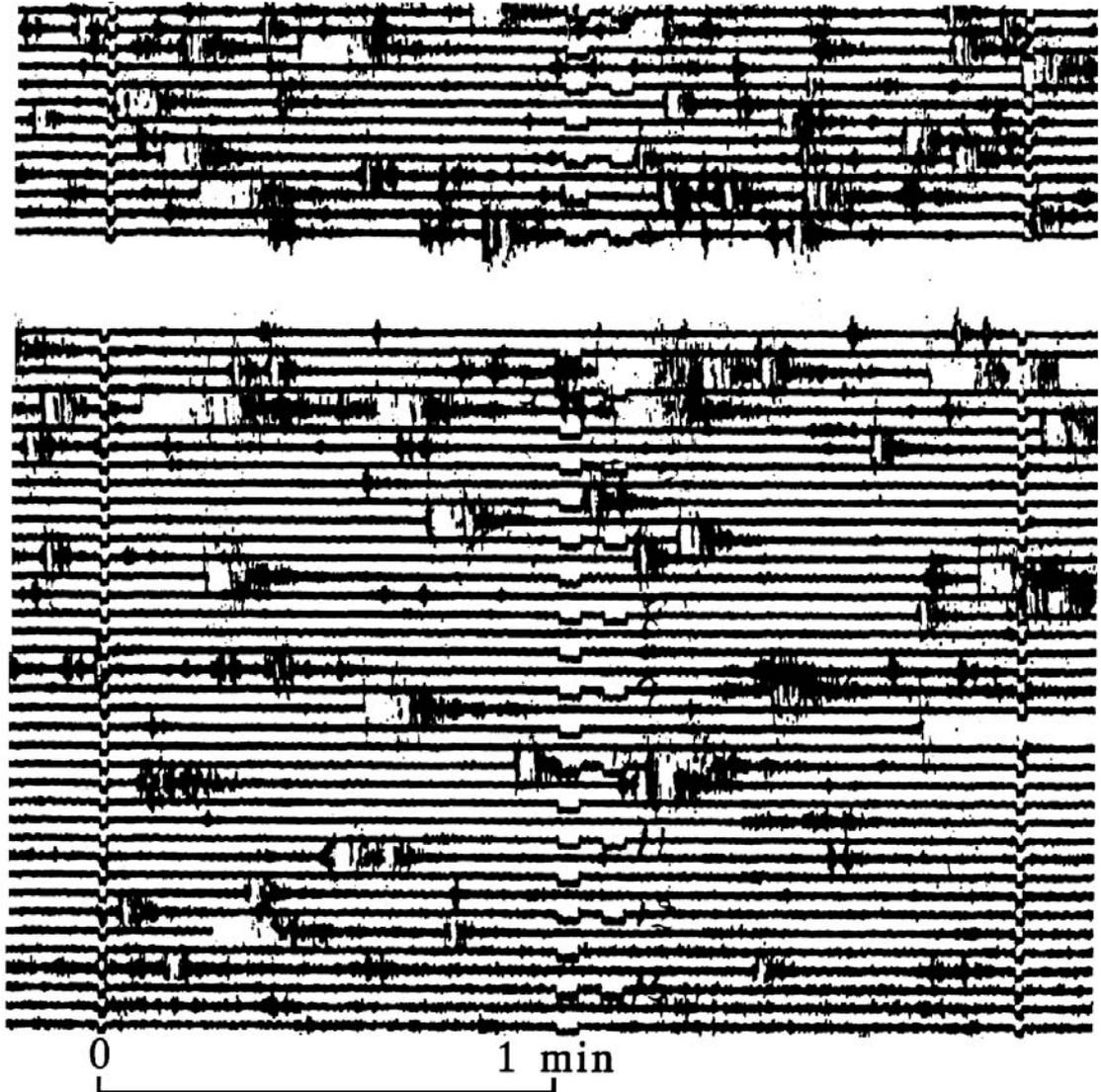


Fig. 2: Parte del sismograma de la estación ICR, ubicada en la cima del volcán Irazú, en la que se muestra un conjunto de sismos volcano-tectónicos que formaron parte del enjambre de 1991. El sismograma es del día 29 de mayo de 1991.

Localizaciones y su relación con el fallamiento:

En la figura 3 se muestran las ubicaciones epicentrales de los sismos que localizó la RSN (color negro) y aproximadamente 100 temblores localizados con una red digital instalada y operada por el ICE-CIFEG (Barquero *et al.*, 1992).

En primera instancia se analizará la distribución epicentral de los eventos con magnitud (M_d) > 3,9 localizados por la RSN. Estos temblores usualmente son mejor localizados ya que por su magnitud, son registrados en mayor número de estaciones. Dos de estos eventos se ubicaron fuera

del área de máxima concentración de sismos, uno cerca del cráter del volcán Turrialba y el otro en el extremo suroeste de la falla Elia. Considerando que en setiembre de 1982 hubo gran actividad sísmica entre los dos volcanes, se estima que estos dos eventos tienen una fuente común que es la falla Elia. Otro evento se ubicó a menos de dos kilómetros al sureste de Pastora (PAS), por esta ubicación no parece haber duda de que se originó en la falla Irazú, pero además, no hay otra falla en la cercanía a la cual atribuir este evento. Finalmente, el temblor localizado directamente al sur del cráter principal pudo haberse generado tanto en la falla Irazú como en la falla Nubes.

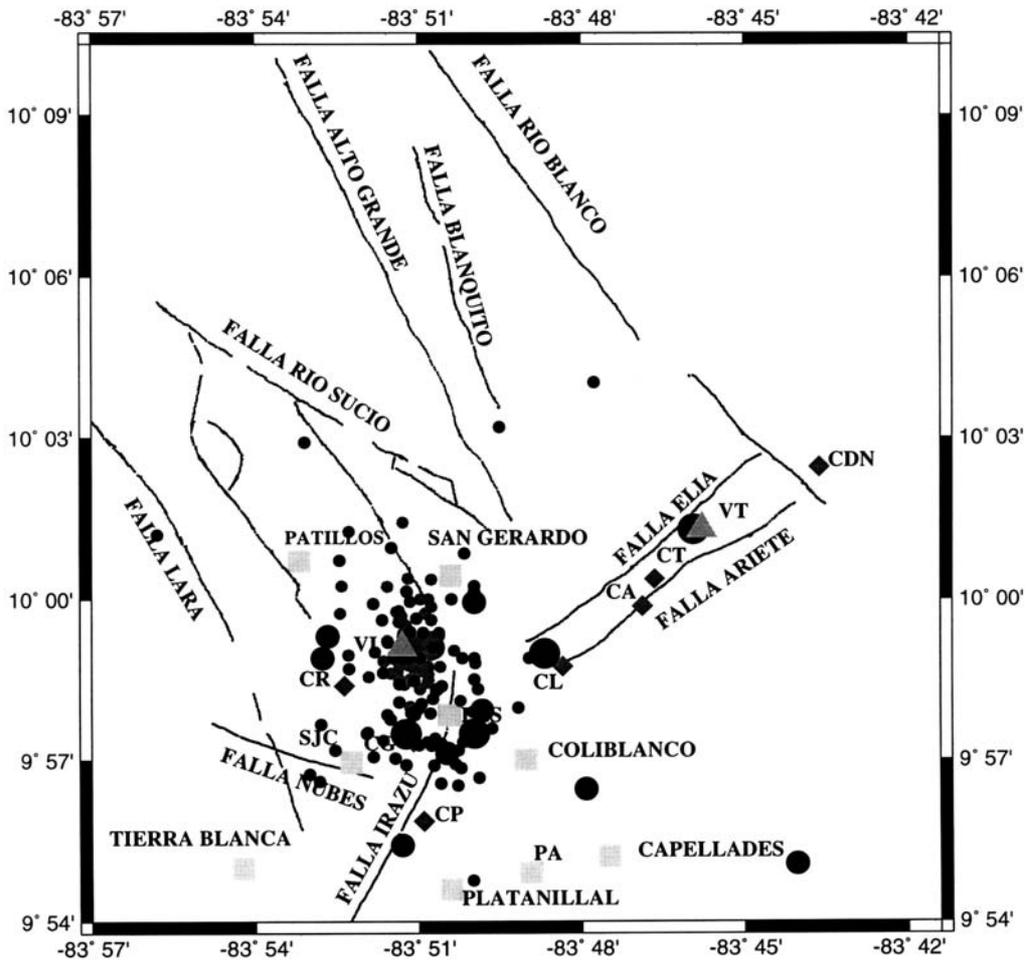


Fig. 3: Distribución de los principales sismos durante el período enero-julio de 1991 según Fernández (1991) y Barquero (1991). Los temblores son representados por círculos, los más pequeños son de magnitud inferior a 3,5, los de tamaño medio tienen magnitudes que fluctúan entre 3,5 y 3,9 grados y los más grandes son de magnitudes superiores a 3,9. Los círculos de color gris son temblores localizados con la red digital portátil instalada por el ICE-CIFEG.

Nueve eventos con magnitudes entre 3,5 y 3,9 se representan con círculos negros de tamaño medio en la figura 3. Tres de ellos se alinean a lo largo de la falla Irazú, lo cual sumado a un evento de magnitud superior a cuatro da evidencia clara de actividad en este lineamiento que es uno de los más importantes de la zona. Cuatro eventos de este rango de magnitudes se ubicaron cerca del extremo sureste de las ramas de la falla Río Sucio; estos eventos pertenecerían a esta falla ya que no hay otra en su cercanía a la cual atribuirlos. Los dos sismos restantes se localizaron al sureste de Coliblanco y Capellades respectivamente, donde no se ha cartografiado falla alguna.

Los temblores de magnitud inferior a 3,5, incluyendo los ubicados con la red digital, muestran actividad en varias fallas. Un ejemplo es la actividad en el segmento de la falla Irazú entre el cráter y el cerro Pasquí. En los extremos de la falla Río Sucio se observan eventos de esta categoría entre San Juan de Chicué y Patillos y cerca de San Gerardo; es importante destacar que eventos de la red digital, con una localización muy precisa, permiten delinear muy bien la rama central de dicha falla. Entre las fallas Irazú y Río Sucio hay gran número de eventos, sobretodo temblores localizados con la red digital, con tendencia nort-sur; lo cuales pueden estar relacionados la actividad tectónica en los extremos de ambas fallas. Fernández (1995) observó este alineamiento nort-sur de sismos en el volcán Irazú pero más a la derecha del cráter.

SISMICIDAD DURANTE EL PERÍODO 1992-1996 Y EL ENJAMBRE DE 1997

Después del enjambre sísmico de 1991 y hasta 1996 la actividad sísmica continuó en el volcán Irazú, pero esporádicamente. En la figura 4 se han graficado los temblores que se han registrado y localizado después del enjambre mencionado (círculos de color gris). Como se observa, la sismicidad se distribuye en forma dispersa por toda el área, indicando que continuó la liberación de esfuerzos en las fallas del

macizo volcánico. Es probable que estos temblores respondan a la desestabilización del medio geológico después del esfuerzo que afectó la zona cratérica.

Las fallas con actividad sísmica en este período son Río Sucio, Lara, Elia, Ariete, Irazú y Nubes. A 3,2 km de la falla Río Blanco, en sentido perpendicular a ella, se ubicó un temblor de magnitud 3,9 (círculo negro mayor en la Fig. 4) que ocurrió el día 26 de mayo de 1996. Este evento generó intensidades de III-IV en Aquiares, III en Pocora de Guácimo y III en Lajas de Turrialba (Mora, 1996). El evento se localizó a 19 km de profundidad. Se realizó el mecanismo focal utilizando 14 primeros arribos y se obtuvo una solución bastante aceptable, con uno de sus planos orientado hacia el noroeste en concordancia con la dirección de la falla Río Blanco. El plano mencionado buza 81° hacia el noreste. Tomando en cuenta la distancia perpendicular temblor-línea de falla y la profundidad del evento, se calculó la posible inclinación del plano de la falla Río Blanco en caso de que ella hubiera generado el evento y se determinó que tal ángulo es $80,5^\circ$, lo cual concuerda con el ángulo de buzamiento del plano de la solución focal e incrementa la posibilidad de que el temblor haya sido originado en la mencionada falla, la que sería de alto ángulo. De ser así, sería una falla de tipo normal. La profundidad del temblor apoya la idea de Stoiber & Carr (1974), quienes propusieron que el sistema Irazú-Turrialba tiene su origen en fracturas profundas.

El enjambre de 1997

El día 15 de junio de 1997 inició un nuevo enjambre sísmico en la zona del volcán Irazú, que se prolongó por varios días. Al igual que en otras ocasiones, cientos de microsismos formaron parte del enjambre. Del gran número de señales sísmicas, cerca de 40 fueron registradas en tres o más estaciones de la Red Sismológica Nacional lo que hizo posible localizarlos en forma preliminar. De estos temblores localizados se escogieron aquellos registrados en cinco o más estaciones para relocalizarlos. Los datos de la relocalización de los temblores se presentan en el cuadros 1.

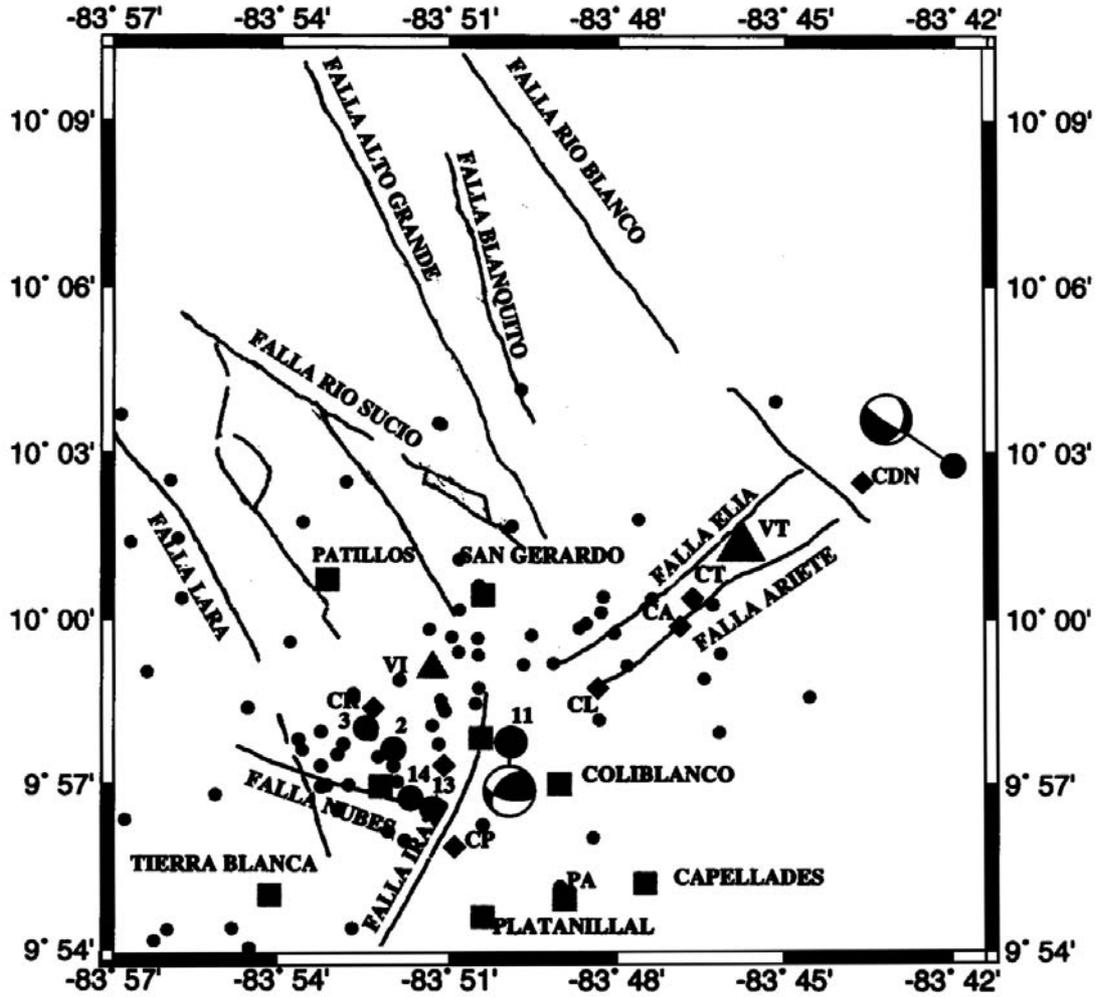


Fig. 4: Sismicidad del período 1992-1996 (círculos de color gris) y el enjambre de 1997 (círculos de color negro). Se destaca el evento de mayo de 1996 cerca de la falla Río Blanco (círculo mayor de color gris).

Cuadro 1

Relocalización de temblores

Fecha	Hora	Latitud	Longit.	Prof.	Magn.	Rms	Eh	Ez	N°
970615	20:31	9,9358	83,8683	06,8	3,1	0,26	3,5	4,8	1
970615	21:31	9,9606	83,8666	03,7	3,4	0,36	1,5	1,3	2
970615	23:02	9,9670	83,8750	01,2	3,7	0,38	1,9	1,3	3
970616	00:50	9,9590	83,8833	05,9	3,2	0,37	1,3	1,2	4
970616	02:04	9,9556	83,8883	04,0	3,0	0,34	1,2	1,3	5
970616	04:39	9,9660	83,8883	01,2	3,1	0,37	1,3	0,9	6
970616	04:47	9,9621	83,8816	05,5	3,1	0,41	1,0	1,5	7
970616	06:38	9,9421	83,8833	11,0	3,3	0,23	1,2	4,6	8
970616	07:26	9,9636	83,8950	02,4	2,1	0,27	1,2	1,6	9
970616	08:56	9,9331	83,8633	12,3	3,0	0,21	1,4	1,4	10
970616	09:05	9,9628	83,8316	03,1	4,0	0,35	1,2	1,2	11
970616	09:15	9,9498	83,8866	00,7	1,9	0,56	2,3	1,6	12
970616	09:24	9,9426	83,8550	01,1	3,7	0,30	1,2	0,8	13
970616	09:27	9,9458	83,8616	01,7	3,9	0,31	1,1	0,7	14
970616	11:17	9,9651	83,8733	01,9	2,9	0,29	1,6	0,8	15
970616	11:30	9,9556	83,8666	05,8	3,2	0,32	1,9	2,3	16
970616	12:16	9,9378	83,8400	04,6	3,2	0,29	1,7	1,4	17
970616	16:59	9,9731	83,9100	01,1	2,9	0,27	2,1	1,4	18
970617	02:04	9,9815	83,8650	02,1	2,4	0,38	1,6	1,5	19
970616	08:29	9,9493	83,8883	04,5	2,8	0,34	1,6	1,6	20

Según las ubicaciones epicentrales (círculos negros Fig. 4), este enjambre se podría asociar con movimientos en las fallas Nubes e Irazú, principalmente a la primera ya que la mayoría de epicentros se alinean en la misma dirección de esta estructura. Lo anterior es apoyado por reportes de vecinos de San Juan de Chicué quienes indicaron que escucharon retumbos después de varios eventos sentidos. Los eventos 2, 3, 13 y 14 son temblores con magnitud entre 3 y 4 y como se puede apreciar, se alinean a lo largo de la falla Nubes. El evento N° 11 fue el mayor del enjambre, su mecanismo focal y su ubicación sugieren que el sismo se originó en la falla Irazú aunque también el rumbo de un plano de la solución focal concuerda con el rumbo de la falla Nubes. A pesar de que la mayoría de los temblores no se localizaron debido a su baja magnitud, los que sí se localizaron concuerdan muy bien con la realidad geológica del área e indican que el esfuerzo tectónico en ella sigue liberándose a través de nuevas fuentes.

CORRELACIÓN ENTRE LA SISMICIDAD DEL PAÍS Y LOS PROCESOS VOLCÁNICOS

En el área volcánica del Irazú han ocurrido enjambres sísmicos tanto previo a la ocurrencia de grandes temblores en el país como posterior a ellos. Un ejemplo del primer caso fueron los enjambres de 1982 que acaecieron en momentos relativamente calmos desde el punto de vista sísmico y antes de los terremotos de Golfito y Pérez Zeledón que ocurrieron en 1983. Al segundo caso pertenecen los enjambres de enero-febrero y mayo-junio de 1991 que comenzaron un mes después de los terremotos de Piedras Negras (22 de diciembre de 1990) y el de Limón (22 de abril de 1991). Lo primero muestra que esta zona de debilidad cortical puede ser activada por el esfuerzo regional permanente que afecta a todo el territorio costarricense. Lo segundo indica que tal área se desestabiliza rápidamente después de fuertes temblores que ocurren en el país y sobretodo si

ocurren cerca de ella. La alta propensión a la ocurrencia de estos enjambres en el área se debe a la existencia de un conjunto de pequeñas fallas en la misma y a que es una zona volcánica joven, en la que los procesos volcánicos contribuyen al incremento de la debilidad cortical.

Debido a la inestabilidad de esta zona, se considera que la continua actividad sísmica en las fallas del volcán podría conducir a la ocurrencia de una erupción volcánica, por cuanto ella podría ser el reflejo de un esfuerzo tensional, que por lo general tiende a separar los bloques entre las fallas permitiendo a los gases y fluidos volcánicos ascender más fácilmente y eventualmente provocar la erupción en superficie, sobretodo si al momento de ocurrir la actividad sísmica hubiera puntos de presión gaseosa cercanos a la superficie, que pudieran ser interceptados por las fallas.

La historia ofrece un conjunto de datos que sugieren una reactivación de focos volcánicos después de grandes temblores en Costa Rica. Entre 1910 y 1912 ocurrieron cinco temblores de magnitud intermedia en la parte central del país: 13 de abril de 1910, terremoto de Tablazo; 4 de mayo de 1910, terremoto de Cartago; 28 de agosto de 1911, terremoto de Toro Amarillo; 10 de octubre de 1911, terremoto de Guatuso y el terremoto de Sarchí, el 6 de junio de 1912. En 1910 el volcán Poás emitió una gran erupción de lodo, gases, bloques y ceniza y el volcán Irazú tuvo una fuerte fase de actividad entre los años 1918 y 1920. Luego, entre 1950 y 1955, ocurren los siguientes temblores: 5 de octubre de 1950, terremoto de Guanacaste; 30 de diciembre de 1950, terremoto de Patillos (falda oeste del volcán Irazú); 7 de enero de 1953, terremoto de Limón y, 1° de setiembre de 1955, terremoto de Toro Amarillo. En 1953 el volcán Poás se reactivó, emite grandes columnas de lodo, escorias y fragmentos de roca y por el ascenso de material magmático, se formó un domo lávico en el espacio que ocupaba la laguna cratérica. En 1962 el volcán Irazú reinicia su actividad la cual se prolonga hasta 1965. En febrero de 1989 reinician los fuertes temblores en Costa Rica y en ese mismo año el volcán Poás entró en una nueva fase eruptiva. Ocurren los terremotos de Cóbano en marzo de 1990, Puriscal entre mayo y diciembre de 1990 y Limón en abril de 1991 y en diciembre de 1994 el

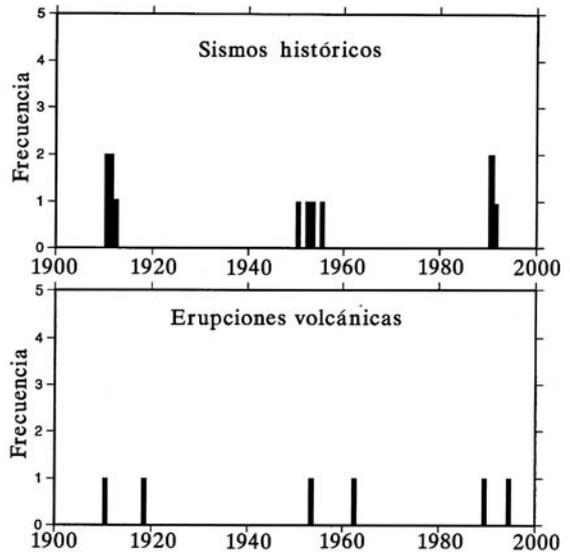


Fig. 5: Correlación entre los principales eventos sísmicos y volcánicos durante el presente siglo.

Irazú genera una explosión freática lateral aislada. Lo anterior se ilustra en la figura 5, la cual muestra la coincidencia entre los mayores eventos sísmicos y volcánicos en los tres períodos mencionados y también que el lapso temporal de calma entre ambos procesos es muy similar; es probable que por las sacudidas sísmicas se generen esfuerzos distensivos en las áreas volcánicas que conduzcan a la erupciones. En caso de ser la actividad volcánica disparada por la actividad sísmica, se podría esperar más actividad volcánica en Costa Rica en los próximos años.

CONCLUSIONES

Las principales fallas que han presentado sismicidad en el macizo Irazú-Turrialba en los últimos 14 años son: Irazú, Nubes, Elia y Ariete. Fallas con poca actividad en el presente son: Río Sucio, Alto Grande, Blanquito, Lara y Río Blanco; esto podría indicar que en la actualidad están acumulando energía y que son ellas las que generarán actividad en el futuro.

Los enjambres sísmicos registrados hasta la fecha en el Irazú han sido de carácter tectónico

y responden a la desestabilización del sistema de fallas como consecuencia de la acción de esfuerzos regionales y locales. Estos enjambres ocurren en pares, o sea, primero se libera cierta cantidad de energía y unos meses después se libera el resto y termina el proceso. Es posible que la actividad sismo-tectónica en esta área volcánica favorezca un futuro evento volcánico, como parece haber ocurrido en el pasado, debido a que los movimientos en las fallas podrían abrir espacios para que salgan los líquidos y gases volcánicos a la superficie.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Red Sismológica Nacional por los datos suministrados al igual que a la Oficina de Sismología y Vulcanología del Instituto Costarricense de Electricidad por la misma razón.

REFERENCIAS

- ALVARADO, G., 1989: Los volcanes de Costa Rica. - 175 págs; UNED, San José, Costa Rica.
- ALVARADO, G., BARQUERO, R., BOSCHINI, I., CHIESA, S. & CARR, M., 1986: Relación entre la neotectónica y el vulcanismo en Costa Rica. - Simposio Internacional sobre Neotectónica y Riesgos Volcánicos. Bogotá, Colombia: 1-7.
- BARQUERO, R., 1991: Volcán Irazú informe vulcanológico preliminar. - 16 págs; informe interno, ICE, San José.
- BARQUERO, R., SOTO, G. & LESAGE, P., 1992: Volcán Irazú, informe vulcanológico período enero 1991-mayo 1992. - 65 págs.; Informe interno ICE, San José.
- BARQUERO, R., LESAGE, P., METAXIAN, J., CREUSOT, A. & FERNANDEZ, M., (1995): La crisis del volcán Irazú en 1991. - Rev. Geol. Amér. Central, 18: 5-18.
- DENYER, P., ARIAS, O., SOTO, G., OBANDO, L. & SALAZAR, G., 1993: Mapa geológico de la Gran Area Metropolitana. - En: DENYER, P. & KUSSMAUL, S. (eds.): Atlas geológico Gran Area Metropolitana. - 275 págs.; Editorial Tecnológica de Costa Rica, Cartago.
- FERNÁNDEZ, M. (ed.), 1991: Sismos sentidos y actividad volcánica en Costa Rica (diciembre 1990; enero, febrero, mayo, junio 1991). - Boletín mensual de la Red Sismológica Nacional (RSN: ICE-UCR), San José.
- FERNÁNDEZ, M., 1995: Análisis sísmico en la parte central de Costa Rica y evaluación del hipotético sistema de falla transcurriente de Costa Rica. - 85 págs; Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), (tesis MSc).
- GÜENDEL, F., 1985: Enjambres sísmicos en el Volcán Irazú. Catálogo de temblores 1984. - Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Costa Rica.
- MONTERO, W., 1993: Mapa sismológico y neotectónico de la Gran Area Metropolitana. - En: DENYER, P. & KUSSMAUL, S. (eds.), 1993: Atlas geológico Gran Area Metropolitana. Editorial Tecnológica de Costa Rica, 147-160.
- MONTERO, W. & ALVARADO, G., 1995: El temblor de Patillos del 30 de diciembre de 1952 (Ms=5,9) y el contexto neotectónico de la región del volcán Irazú, Costa Rica. - Rev. geol. Amér. Central, 18: 25-42.
- MORA, M. (ed.), 1996: Resumen de la actividad sísmica y volcánica de Costa Rica, mayo 1996. - Boletín de la Red Sismológica Nacional (RSN: ICE-UCR), San José.
- PANIAGUA, S., SALAZAR, G., KUSSMAUL, S., MONGE, A., OBANDO, L., BURGOS, A. & FERNANDEZ, M., 1993:

- Amenaza y estimación económica básica de la vulnerabilidad material asociada al volcán Irazú, Cordillera Central, Costa Rica. - 109 págs.; Inf. técnico Sección de Vulcanología, Escuela de Geología, Universidad de Costa Rica, San José.
- RSN, 1982: Informe de la actividad sísmica correspondiente al mes de junio y setiembre de 1982. - Red Sismológica Nacional: ICE-UCR, San José.
- ROJAS, W. & BARQUERO, R. (eds.), 1991: Informe de sismos sentidos en el mes de abril de 1991. - Boletín mensual de la Red Sismológica Nacional, San José.
- SOTO, G., 1988: Estructuras volcano-tectónicas del volcán Turrialba, Costa Rica, América Central. - Memorias V Congreso Geológico Chileno, Tomo III: 163 -175.
- STOIBER, R. & CARR, M., 1974: Quaternary volcanic and tectonic segmentation of Central America. - Bulletin Volcanol. 37,3: 304-326.