

I TALLER LATINOAMERICANO REDUCCION DE LOS EFECTOS DE LOS DESASTRES NATURALES EN LA INFRAESTRUCTURA ENERGETICA

DIAGNOSTICO GENERAL DE AMENAZAS NATURALES Y SU IMPACTO EN LA INFRAESTRUCTURA DE RECOPE

**Geól. Alvaro Aguilar D.
RECOPE, FAX (506) 253-1917**

Resumen

En Costa Rica se presentan condiciones aptas para la ocurrencia de varios tipos de fenómenos naturales tales como: la actividad sísmica, la actividad volcánica, erosión, deslizamientos, inundaciones y otros. La infraestructura de RECOPE se encuentra dentro del área de influencia de estos fenómenos, los que por su frecuencia y severidad, en muchos casos, son capaces de provocar daños tanto a la infraestructura, como a su personal, comprometiendo además el medio ambiente de su entorno. Esto conlleva por lo tanto, a la necesidad de efectuar estimaciones apropiadas sobre amenaza, vulnerabilidad y riesgo y establecer las estrategias de prevención y mitigación adecuadas. Los resultados de estas estimaciones, serán utilizados tanto en el "endurecimiento" del sistema actual, como en los diseños de los futuros desarrollos de la infraestructura de RECOPE

I. INTRODUCCIÓN

La Refinadora Costarricense de Petróleo (RECOPE), es la empresa estatal encargada de satisfacer la demanda de combustibles en forma oportuna, al menor costo posible, manteniendo el debido cuidado por el medio ambiente. Actualmente son comercializados en RECOPE un total de 15 productos, que se expenden en cuatro planteles de distribución ubicados a lo largo de la ruta del poliducto, el cual tiene una longitud total de 341 km y se extiende desde Moín en el sector Atlántico, hasta Barranca en el Pacífico (fig.1). Los productos trasgados por el poliducto son diesel, gasolina, kerosene y jet para lo cual se cuenta con la siguiente infraestructura.

- Estaciones de bombeo en Moín, Siquirres, Turrialba y El Alto.
- Poliducto Limón-Siquirres-Turrialba-El Alto con dos líneas.
- Poliducto El Alto-La Garita con una línea.
- Poliducto La Garita-Barranca con una línea
- Areas de recibo en El Alto, La Garita y Barranca.

En el presente trabajo se realiza un diagnóstico general de las principales amenazas naturales que podrían tener impacto en la infraestructura de RECOPE (amenaza sísmica, amenaza volcánica, amenaza por deslizamientos y amenaza por inundaciones), así como aquellas estrategias de mitigación que han sido consideradas para reducir la vulnerabilidad de la misma.

La infraestructura de RECOPE, ha presentado en varias ocasiones cierto grado de vulnerabilidad a raíz de la ocurrencia de fenómenos naturales tales como sismos, deslizamientos e inundaciones, produciéndose pérdidas tanto humanas como materiales y provocando un impacto económico moderado.

Considerando que Costa Rica, al igual que en la mayoría de los países latinoamericanos, es una región con una amplia historia de desastres naturales, y que los mismos constituyen en esencia un elemento importante que genera problemas ambientales, en RECOPE están siendo desarrolladas estrategias orientadas a la mitigación de las amenazas naturales, con lo cual se espera obtener al final, altos dividendos sociales y

económicos.

II. CARACTERÍSTICAS TOPOGRÁFICAS

Desde el punto de vista topográfico, la infraestructura de RECOPE se ubica a elevaciones que van desde los 3.5 m.s.n.m hasta los 1685 m.s.n.m (fig. 2). Desde la Refinería en Moin (sector atlántico), el poliducto inicia a los 3.5 m.s.n.m, con un recorrido hacia el oeste por zonas de baja elevación y pendientes suaves correspondientes a los abanicos aluviales de la llanura atlántica, hasta llegar a la población de Siquirres, en donde inicia el ascenso al sector central del país. Este ascenso lo efectúa por el borde este del Volcán Turrialba que forma parte de la Cordillera Volcánica Central. En Siquirres se cuenta con una estación de bombeo a 238 m.s.n.m. Este último trayecto se caracteriza por presentar pendientes de moderadas a altas. Continúa hacia el interior del país, siempre con rumbo generalizado este - oeste y con el mismo tipo de pendientes. En la población de Turrialba se ubica otra estación de bombeo a 640 m.s.n.m, que se debe de utilizar para que el producto bombeado supere elevaciones de alrededor de 1600 m.s.n.m en la parte central del país, hasta alcanzar el plantel de El Alto a 1650 m.s.n.m. Saliendo del plantel El Alto, 4 km al oeste del mismo, el poliducto supera la máxima elevación de 1685 m.s.n.m y luego presenta un descenso con pendientes moderadas hasta los 738 m.s.n.m, cuando alcanza el plantel de La Garita. El último trayecto lo realiza hasta el sector pacífico, sitio en el cual se ubica el plantel de Barranca con una elevación de 40 m.s.n.m.

III. MARCO TECTÓNICO

Costa Rica es parte del arco insular maduro intraoceánico del sur de América Central, originado desde el Cretácico Superior (70 m.a.) (fig. 3). Este arco insular marcó el inicio de la subducción de la Placa Farallón bajo la Placa Caribe, conformando los primeros elementos del puente ístmico que uniría posteriormente Norte y Sur América. El proceso evolutivo de esta subducción hasta el presente, a generado los rasgos típicos de un margen convergente intraoceánico, comprendido de So a NE por las siguientes unidades morfotectónicas: una fosa, un arco externo, una región antearco, un arco

volcánico y una región tras arco (fig. 4). Desde el Eoceno (45 m.a.) y hasta el presente, este arco ha sido afectado por un evento compresivo importante, iniciándose de esta manera un sistema de falla sinistral (desplazamiento de rumbo lateral izquierdo) de tendencia E-W, denominado como "Sistema de Falla Transcurrente de Costa Rica", que dividió la región en dos segmentos, uno norte y otro sur. Cada uno de estos segmentos posee historia geológica diferente, lo que se refleja en la historia de sus rellenos sedimentarios, así como en la intensidad y el estilo de deformación estructural y hasta en el magmatismo. El bloque sur ha experimentado mayores proporciones de deformación, debido a una compresión tectónica causada por el movimiento hacia el norte del bloque de Panamá. Posteriormente, desde el Plioceno (4 m.a.), la subducción somera de la dorsal asísmica del Coco, ha venido induciendo compresiones adicionales en dicho segmento (ASTORGA et al., 1991).

Como se puede observar en la figura 4, la totalidad de las instalaciones de RECOPE se ubican en la zona de influencia del "Sistema de Falla Transcurrente de Costa Rica" o límite entre los bloques norte y sur, zona en la cual se manifiestan procesos geodinámicos muy importantes.

IV. MARCO GEOLÓGICO

En la figura 5 se presenta el mapa geológico generalizado para un corredor del trayecto total del poliducto e infraestructura asociada, que comprende desde el sector atlántico hasta el sector pacífico. Las unidades que se indican en este mapa representan un carácter principalmente geotécnico más que estratigráfico o litológico, lo cuál constituirá una información base para los análisis posteriores sobre áreas con potencial de deslizamiento. Las unidades utilizadas en esta clasificación son:

Qal: Aluvión cuaternario

Qa : Manglares y sectores inundables

Vc : Suelos volcánicos cuaternarios
(materiales de la cordillera volcánica central de Costa Rica)

- Vt : Suelos volcánicos terciarios
- Rb : Rocas blandas (rocas sedimentarias muy alteradas y de poca cohesión)
- Rd : Rocas duras (rocas sedimentarias compactas y densas, muy resistentes).

En el trayecto comprendido entre la Refinería, ubicada en el sector atlántico y la estación de bombeo de Siquirres, existe un predominio de la unidad de aluvión cuaternario (Qal), la cuál está ampliamente distribuida en el sector atlántico. De la estación de Siquirres, a la estación de Turrialba, el poliducto se ubica principalmente sobre rocas blandas (Rb) y en menor grado sobre suelos volcánicos cuaternarios (Vc). En el siguiente trayecto hasta el plantel El Alto, el poliducto se ubica mayormente sobre suelos volcánicos cuaternarios (Vc) y en menor proporción, sobre aluviones cuaternarios (Qal) y rocas blandas (Rb). El trayecto del poliducto entre el plantel El Alto y el plantel La Garita, presenta un predominio total de suelos volcánicos cuaternarios (Vc). En el último trayecto, comprendido entre el plantel La Garita y el plantel de Barranca, este último ubicado en el sector pacífico, están presentes la mayor parte de las unidades utilizadas en esta clasificación (Qal, Vc, Vt, Rb y Rd), exceptuando la unidad Qa.

En la figura 5 se indican los sistemas de falla mayormente reconocidos ubicados cerca de la infraestructura de RECOPE. La mayor parte de estos sistemas forman parte de la zona de deformación asociada al "Sistema de Falla Transcurrente de Costa Rica". En su mayoría corresponden con fallas de desplazamiento de rumbo tipo dextral las de orientación NO-SE y sinistral las orientadas SO-NE. Al sur del Valle Central han sido identificados igualmente fallas inversas con orientación principalmente NO-SE (AGUILAR, 1984). En el sector Caribe se distingue un predominio de fallas inversas que forman parte de por lo menos tres frentes de sobrecorrimiento, con orientación generalizada NO-SE y E-O, y asociadas a éstas, se presentan fallas de desplazamiento de rumbo con orientación general NO.

Amenaza sísmica

Costa Rica forma parte del sector este del denominado Cinturón de Fuego del Pacífico. Esta es una región con una actividad sísmica y volcánica muy intensa, asociada a procesos relacionados con la dinámica de la tectónica de placas. La actividad sísmica que se presenta en el país, es una consecuencia de la colisión de dos placas tectónicas, en este caso, la placa del Coco que se subduce bajo la placa Caribe, en el sitio conocido como Trinchera Mesoamericana. Este proceso por lo tanto, induce un alto nivel de sismicidad que se presenta en casi todo el territorio nacional. Esta distribución sin embargo, no es uniforme en todo el país, notándose mayor actividad en la zona de subducción, en la zona de deformación del "Sistema de Falla Transcurrente de Costa Rica" y en la "Zona de Fractura de Panamá" (fig.6a).

En la trinchera Mesoamericana se presenta una zona de intensa actividad sísmica de carácter somero, con hipocentros que tienden a aumentar de profundidad hacia el interior del país. Las profundidades hipocentrales en esta área varían entre los 5 km, en la zona de la trinchera, hasta los 50 km cerca de la costa o litoral, con magnitudes que pueden alcanzar valores de hasta 7.5 (Richter) (fig 6b). Las zonas sísmicas que se ubican en este sector podrían provocar un mayor impacto en las instalaciones de RECOPE ubicadas en el sector pacífico, tal es el caso del plantel de Barranca y en algún grado el plantel de La Garita, ubicado en el sector occidental del Valle Central.

La zona de subducción que se extiende hacia el interior del país, colocándose por debajo de la parte central de territorio nacional, bajo de las cordilleras volcánicas actuales (fig. 6b), presenta una actividad sísmica con epicentros profundos de 60 a 120 km y magnitudes de hasta 7 (Richter)(Morales & Aguilar, 1994).

La zona de deformación del Sistema de Falla Transcurrente de Costa Rica, se caracteriza por presentar una importante actividad sísmica con hipocentros someros (hasta 30 km) y magnitudes moderadas (5 a 6.5)(fig 6b). Es en esta zona en donde se han presentado el mayor número de temblores destructivos o terremotos que han tenido impacto importante en el país. La totalidad

de la infraestructura de RECOPE se localiza dentro de esta zona de deformación, lo cual sugiere un alto potencial de amenaza sísmica para la misma. LAPORTE et al (1995) han realizado un análisis de la amenaza sísmica de Costa Rica, en términos de dibujos de contornos de valores de aceleraciones pico del terreno (PGA), probabilísticamente estimadas para sitios en suelo y para probabilidades de excedencia anual de $2(10^{-2})$, $1(10^{-2})$, $2(10^{-3})$ y $1(10^{-3})$ que corresponden a periodos de retorno de 50, 100, 500 y 1000 años respectivamente (figs. 7a, 7b, 7c y 7d). Este constituyó un estudio regional cuyo fin no es el modelado de fuentes sismogénicas (fallas) individuales, concentrándose más bien en una zonificación por áreas. Una de las zonas sísmicas utilizadas en ese estudio (zonificación "grosera" de fuentes someras) corresponde con la zona de deformación del "Sistema de Falla Transcurrente de Costa Rica", zona en la cual se ubican las instalaciones de RECOPE. En la tabla I se indican los principales parámetros sísmicos estimados para esta zona.

De lo anterior se desprende que, en la zona sísmica en la cual se ubica la infraestructura de RECOPE, se puede esperar un evento de $M_w = 6.5$ cada 9.9 años y uno de $M = 7.3$ cada 50 años.

En la figura 8 se indican algunos valores de aceleraciones pico del terreno, registradas en sitios cercanos a las instalaciones de RECOPE. Los mayores valores están asociados a suelos blandos.

Amenaza Volcánica

Los volcanes activos en Costa Rica se ubican en las cordilleras volcánicas Central y de Guanacaste y su génesis está asociada a los procesos de la subducción de la placa del Coco bajo la placa Caribe. Desde el punto de vista de la amenaza volcánica, solo parte de la infraestructura de RECOPE se encuentra en el área de influencia de los riesgos volcánicos de la Cordillera Volcánica Central, la cual está constituida por los volcanes Poás, Barva, Irazú y Turrialba (fig. 9). Estos volcanes corresponden con estrato-volcanes constituidos principalmente por andesitas basálticas y andesitas piroxénicas, intercalaciones de brechas, aglomerados y depósitos de lapilles y

cenizas (PANIAGUA & SOTO, 1987).

En la figura 9 se presenta el área de influencia de cada uno de los riesgos volcánicos, así como la ubicación de la infraestructura de RECOPE que podría ser impactada por los mismos. Hacia el este, las primeras zonas con riesgos volcánicos corresponden con las asociadas a las laderas este y sureste del volcán Turrialba. En este sitio el oleoducto podría ser afectado por los flujos de barro que se producirían en los ríos Aquiares y Turrialba.

Posteriormente, hacia el oeste, el poliducto entra en el área de influencia del volcán Irazú, siendo los principales peligros volcánicos, los flujos de barro de los ríos Birris, Pérez y Reventado. Otro de los peligros volcánicos del volcán Irazú lo constituye la eventual emisión de lavas, similar a la que generó las lavas recientes-prehistóricas (11000 - 22000 años) de la colada de Cervantes, ubicada entre Pacayas y Cot de Cartago. No se conocen emisiones de lavas en los registros históricos, pero no se descarta la posibilidad de que estas ocurran. Al oeste de la ciudad de Cartago, tanto el poliducto, como el plantel de El Alto, se verían afectados por la zona de riesgo moderado caracterizada por caída de cenizas, tanto del volcán Turrialba como del Irazú.

Al oeste del Valle Central, el poliducto entra en el área de influencia de los volcanes Barva y Poás, pudiendo estar afectado por los flujos de barro en el río Segundo, río Ciruelas, río Poás y río Grande. También en este sector, tanto el poliducto como el plantel de La Garita, se encuentran dentro de la zona de riesgo moderado por caída de cenizas de los volcanes antes citados.

Amenaza por inundaciones

El sistema fluvial de Costa Rica está condicionado por la diversidad morfológica del sistema montañoso, el cual lo divide en dos vertientes, la vertiente del Pacífico y la vertiente del Caribe. La vertiente Caribe se subdivide a la vez en dos subvertientes denominadas Caribe y Norte. La primera, ubicada en la parte occidental del país, cubre un 53% del mismo, mientras que la segunda cubre una área que corresponde al 46% del

territorio nacional. La infraestructura de RECOPE se ubica en ambas vertientes.

En la figura 10 se presentan las zonas climáticas de Costa Rica, de acuerdo a la clasificación realizada por Instituto Meteorológico Nacional, basado en las características que presenta el viento y su efecto en la distribución temporal de la precipitación en Costa Rica. Como se indica en la figura 10 la infraestructura de RECOPE se ubica principalmente en la zona Atlántica, zona del Valle Central y en un sector más restringido de la zona del Pacífico Norte. En la tabla II se indican las principales características de cada zona climática que tiene influencia en la infraestructura

de RECOPE. Como se puede observar en la tabla anterior, la región Caribe corresponde con la región de mayor humedad del país, esto debido a la constante entrada de humedad transportada por el viento o aliso desde el Mar Caribe. están

De acuerdo a RAMIREZ(1988), en Costa Rica se presentan tres tipos de eventos meteorológicos severos que pueden originar inundaciones y avalanchas, estos son: las lluvias prolongadas o temporales, tormentas locales severas y la combinación de las anteriores. Las lluvias prolongadas se originan por disturbios meteorológicos a escala sinóptica, que se caracteriza por la extensión de las áreas afectadas.

TABLA I
Parámetros sísmicos de la zona sísmica correspondiente al
Sistema de Falla Transcurrente de Costa Rica

Valor b	Valor a	Valor N	a-norm	T (6.5)	M (50)	Mmax
0.91	4.92	2.34	4.3	9.9	7.3	7.7

Donde:

a y b: Parámetros de recurrencia (relación de Gutenberg y Richter ($\log N = a - bM$))

valor "a" normalizado a un año

N. número de eventos con magnitud igual o mayor que Mw 5.0

a-norm: valor a normalizado a 10 000 km²

T(6.5): período de retorno para Mw 6.5

M(50). Mw para un período de retorno de 50 años

Mmax: magnitud máxima utilizada en el análisis de la amenaza

Por lo general las intensidades son relativamente bajas, pero la cantidad de lluvia ha alcanzado valores de hasta 940 mm en cuatro días en la Vertiente Caribe y 680 mm en la región costera del Pacífico. Las tormentas locales severas, se encuentran restringidas a áreas geográficas relativamente pequeñas.

La infraestructura de RECOPE presenta cierto grado de vulnerabilidad ante la amenaza que representan las lluvias prolongadas en las llanuras aluviales de la zona Caribe. Por otro lado, la infraestructura

ubicada en las partes montañosas hacia el interior del país (partes montañosas de las zonas Caribe y Pacífico Norte y zona del Valle Central), se encuentra bajo amenaza por inundaciones, debido a las tormentas locales con tiempos de concentración cortos, las que muchas veces se combinan con deslizamientos, y también cuando estas mismas áreas se encuentran bajo la influencia de las lluvias prolongadas.

El poliducto en su recorrido desde la vertiente Caribe hasta la vertiente del Pacífico, debe de

atravesar por un total de 58 ríos y 68 quebradas, considerando los ríos y quebradas que aparecen en las hojas topográficas a escala 1:50.000 del IGN. Existen muchos otros sistemas de drenaje menores que no aparecen en dichas hojas, pero que bajo condiciones extremas de precipitación, constituyen una amenaza de inundación. Esos ríos

y quebradas están asociados a 8 de las principales cuencas hidrográficas de Costa Rica que presentan nomenclatura regional y local, según se indica en el Boletín Hidrológico No. 18 del ICE de 1990. En la tabla III están indicados los principales parámetros de estas cuencas.

TABLA II
DESCRIPCION DE ZONAS CLIMATICAS

REGION	UBICACION	P.P.A. mm	T.P.A. °C	H.R.P.A. %
Caribe	Sector oriental del país	3000 zonas costeras 4500 hasta 7000 en zonas altas	27-30	86 casi todo el año
Valle Central	Valle Central de Costa Rica	1500-2500 valles 2500-3500 zonas altas	19-22 valle 10-5 zonas altas	82
Pacífico Norte	Provincia de Guanacaste, parte norte de Puntarenas	1.400 zonas bajas 2.500 zonas altas	25 y 28 zonas bajas 23 y 17 zonas altas	60-65 meses secos 80-85 estación lluviosa

(Fuente: VAHRSON et al, 1992)

P.P.A. : Precipitación promedio anual en mm.

T.P.A. : Temperatura promedio anual en °.

H.R.P.A. : Unidad relativa promedio anual en %.

TABLA No. III
Cuencas hidrogáficas que tienen influencia en la
infraestructura de RECOPE

CUENCA	VERT.	AREA km²	P mm/a	E mm/a	C.P. l/s/km²
Río Moín	Caribe	362	3 956	2 582	81,9
Río Matina	Caribe	1 415,6	3 626	3 086	97,9
Río Madre de Dios y otros	Caribe	802,4	4 021	3 032	96,1
Ríos Reventazón y Parímina	Caribe	2 950,3	3 777	2 646	83,9
Río Chirripó	Caribe	1 635	4 326	3 671	116,4
Río Barranca	Pacífico	504,5	3 750	1 999	63,4
Río Jesús María	Pacífico	358,5	2 593	1 322	41,9
Río Grande de Tárcos	Pacífico	2 168,5	2 456	1 520	48,2

(Fuente: VAHRSON et al, 1990)

P : precipitación

E : escorrentía

C.P. . caudal promedio

Amenaza por deslizamiento

Otro de los fenómenos naturales que puede provocar un impacto importante en la infraestructura de RECOPE, son los deslizamientos que ocurren a partir de las laderas inestables presentes en las zonas montañosas del país.

Los fenómenos de inestabilidad más corrientes en Costa Rica son: la erosión (laminar, concentrada y sectorial) y la remoción en masa de terrenos (reptación, deslizamientos someros y profundos y desprendimientos de taludes rocosos). Los mecanismos de disparo de estos fenómenos se asocian tanto a procesos naturales como antrópicos. Entre los naturales se pueden citar entre otros: los períodos de alta precipitación meteórica, los sismos y el vulcanismo (MORA, 1992). Los procesos antrópicos cada día son más importantes como un factor que incide en los procesos de inestabilidad de laderas y ocurre cuando el hombre realiza modificaciones del medio ambiente, resultado de las diferentes actividades de un desarrollo mal planificado.

En algunos sectores del trayecto del poliducto a través del territorio nacional, se presentan condiciones geológicas, climáticas y topográficas que propician la ocurrencia de laderas inestables, las cuales son variables en cuanto a su forma, intensidad y extensión. Algunos impactos en el poliducto, no necesariamente podrían llevarse a cabo en el sitio mismo de la ladera inestable, pudiéndose ver afectado cuando éste se ubica en posiciones topográficamente superiores o inferiores.

Las condiciones geológicas ya fueron expuestas anteriormente en este trabajo y nos permiten inferir a priori la susceptibilidad al deslizamiento de esas unidades geológicas, basado únicamente en sus características físicas. Para tal efecto, las unidades geológicas utilizadas anteriormente fueron reclasificadas según su potencial para deslizamiento indicándose cuando este es alto, medio o bajo. En la figura 11 se muestra el resultado de esta reclasificación. Se puede inferir de esta manera, que el mayor potencial para deslizamiento en el trayecto del poliducto, se presenta en el tramo comprendido entre la estación de Siquirres y la estación de Turrialba, en donde se ubican los deslizamientos activos de

Piedras de Fuego, Santa Marta, Pavones-Izarco, Pascua, Guayabo, etc. Hacia el interior, se presentan condiciones geológicas más locales, en donde también existen deslizamientos activos tales como el de Banderilla (conocido también como San Blas), ubicado en la margen derecha del Río Reventado y muy cercano al cruce del poliducto por dicho río.

De igual manera, las condiciones climatológicas expuestas anteriormente, nos indican que la vertiente Caribe es la que presenta la mayor humedad durante todo el año y los mayores valores de precipitación promedio anual (tablas II y III). Por lo tanto, desde el punto de vista climatológico, el trayecto del poliducto que se ubica en la vertiente Caribe presenta un mayor potencial de deslizamiento.

En cuanto a la topografía, las zonas montañosas influyen en forma directa cuando el poliducto se ubica muy cercano a áreas con pendientes moderadas a altas, en donde las unidades geológicas presentan un potencial de deslizamiento medio a alto y zonas con gran humedad y precipitación. Nuevamente, el trayecto del poliducto entre la estación de Siquirres y la de Turrialba, se encuentra bajo esas circunstancias.

El trayecto del poliducto por las zonas con topografía relativamente suave de los abanicos aluviales de la región Caribe, experimentan una amenaza por deslizamiento como efecto indirecto, asociado al material que se ha desprendido de las laderas inestables en las partes altas de las cuencas hidrográficas, los cuales son arrastrados por los principales sistemas de drenaje, pudiendo impactar al poliducto en aquellos sitios por donde este cruza los abanicos aluviales. Un fenómeno de este tipo ocurrió con el terremoto de Limón del 22 de abril de 1991 (Mw=7.3).

V. ESTRATEGIAS DE MITIGACIÓN

El primer paso, previo al establecimiento de las medidas de mitigación, ha consistido en efectuar un diagnóstico general de las posibles amenazas naturales que pudieran impactar negativamente las instalaciones de RECOPE, con lo cual se pretende contar con una estimación también preliminar de la vulnerabilidad y el riesgo de dichas instalaciones ante cada tipo de amenaza. Lo

anterior permitirá desarrollar las estrategias de mitigación de carácter general que deberán de ser consideradas en los procesos de planificación de la empresa.

Para el caso del reforzamiento de la actual infraestructura, así como en el desarrollo de los nuevos proyectos de inversión, será necesario, en algunos casos, efectuar estudios detallados de la amenaza, de tal manera que se pueda contar con parámetros específicos de la misma que serán considerados en las obras de reforzamiento, así como en los nuevos diseños.

En el caso de la amenaza sísmica, para cada sitio en estudio, se deberá de considerar tanto la amenaza sísmica primaria como secundaria (deslizamientos, ruptura de falla en superficie, licuefacción y amplificación dinámica del suelo) y orientar el análisis tanto determinística como probabilísticamente. Para los sistemas de falla cercanos a la infraestructura y que se consideran como posibles fuentes sismogénicas, será necesario efectuar estudios sismológicos y neotectónicos apropiados.

Para el caso de los deslizamientos, estos deberán de ser evaluados individualmente, definiéndose claramente todos los parámetros geotécnicos necesarios que definan la dinámica del movimiento de la masa inestable, para lo cual se requerirá realizar estudios geofísicos (refracción y resistividad eléctrica principalmente) y geotécnicos. En el cartografiado de los deslizamientos deberá de ser considerado al menos el tipo de roca, estructura y resistencia; tipo de suelo y plasticidad; ángulo y forma de la pendiente; estado del drenaje y profundidad del nivel freático; historia de deslizamientos anteriores; uso de la tierra, incluyendo vegetación tipo y cambio.

Para los sistemas de drenaje más importantes (principalmente ríos con gran caudal y amplia historia conocida de inundaciones) por los cuales cruza el polducto, se deberá realizar modelados hidrogeológicos de simulación para la determinación de caudales de diseño para diferentes períodos de retorno. Posteriormente, modelados hidráulicos para determinar la conducta hidráulica del río, determinando así las posibles planicies de inundación en las áreas de interés.

Toda la información que sea generada a través de estos estudios, será utilizada para la actualización de las guías y normas de diseño.

Como parte de las acciones de mitigación, debe de considerarse la vigilancia permanente de cada fenómeno natural. Para el caso de la actividad sísmica y volcánica, se cuenta con información que generan las instituciones nacionales responsables de estos estudios (Red Sismológica Nacional ICE-UCR y el Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Costa Rica -UNA). Por otro lado, RECOPE cuenta con instrumentación (red de acelerógrafos) para determinar el comportamiento dinámico del terreno ante una sacudida sísmica, datos que son utilizados en las obras de reforzamiento y en los nuevos diseños. Algunos de los deslizamientos más importantes que ponen en peligro algunos tramos del polducto, como es el caso de los deslizamientos de Piedras de Fuego en Turrialba y Banderilla al norte de la ciudad de Cartago, se encuentran bajo vigilancia por parte del Instituto Costarricense de Electricidad, ICE. Para algunos otros deslizamientos, RECOPE deberá de establecer controles de vigilancia adecuados. Los fenómenos hidrometeorológicos son vigilados por el Instituto Meteorológico Nacional y por la Comisión Nacional de Emergencia, esta última efectuando un monitoreo permanente en las cuencas hidrográficas de mayor peligrosidad, principalmente las cuencas de la vertiente Caribe.

Actualmente en RECOPE son realizados estudios de amenazas naturales en las fases de factibilidad y prefactibilidad de los nuevos proyectos. Estos son necesarios como parte de la información que RECOPE debe de presentar en los estudios de impacto ambiental, para obtener la aprobación del proyecto

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Como resultado de este estudio(diagnóstico general), se concluye que en el área en donde se ubica la infraestructura de RECOPE, así como en su entorno inmediato, se presentan condiciones aptas para la ocurrencia de fenómenos naturales tales como actividad sísmica, actividad volcánica, deslizamientos e inundaciones, capaces de provocar un impacto negativo importante en dicha infraestructura

Se considera de gran importancia la realización pronta de estudios de detalle, en aquellos sitios considerados como de mayor potencial de amenaza, con el propósito de efectuar oportunamente las acciones correctivas que se requieran y así reducir la vulnerabilidad de la infraestructura bajo riesgo. En algunos casos, algunas de estas acciones correctivas deberán de ser implementadas previo a la finalización de los estudios de detalle, cuando la condición de peligro sea inminente.

Para la evaluación de tanta y tan variada información, es importante contar con dos herramientas que facilitarán esta labor. La primera de ellas consiste en la utilización de un sistema de información geográfica para combinar la información de amenazas naturales, infraestructura, población, características físicas de toda el área en donde se ubica la infraestructura, etc., con lo cual se podrán obtener los mapas de zonificación de cada tipo de amenaza, permitiendo además, la oportuna toma de decisiones para la definición de las estrategias de mitigación, así como para la elaboración de los planes de contingencia. La segunda herramienta, la cual sería utilizada principalmente por los planificadores, consiste en un atlas de amenazas, acompañado de un esquema de secuencia lógica para su utilización. En RECOPE ya ha sido iniciada la implementación de ambas herramientas.

VII. REFERENCIAS

- AGUILAR, A., 1984: Sismicidad del 3 a 9 de setiembre de 1980 y su relación con la geología de la cabecera del río Navarro, Cartago. -Escuela Centroamericana de Geología, Universidad de Costa Rica (Tesis de Licenciatura), 168 p
- ASTORGA, A., FERNANDEZ, J.A., BARBOZA, G., CAMPOS, L., OBANDO, J., AGUILAR, A. & OBANDO, L.G. - Cuencas sedimentarias de Costa Rica: Evolución geodinámica y potencial de hidrocarburos. Revista Geológica de América Central. 25 - 59 Octubre, 1991.
- CHACON, J.J., 1993: Modelación hidrológica e hidráulica para el diseño de obras de control de inundaciones en el río Turrialba. Instituto Tecnológico de Costa Rica. (Tesis de Licenciatura)
- LAPORTE, M., LINHOLM, C., BUNCUM, H. & DAHLE, A., 1994. Update of seismic hazard for Costa Rica. NORSAR
- MONTERO, W., 1994. Sismicidad y tectónica. Atlas Geológico del Gran Area Metropolitana. - Editorial Tecnológica de Costa Rica. 275 p.
- MORA, S., 1992: Laderas inestables de Costa Rica. Instituto Centroamericano de Administración Pública.
- MORALES, L.D. & AGUILAR, A., 1994: Amenaza sísmica. Atlas Geológico del Gran Area Metropolitana. -Editorial Tecnológica de Costa Rica. 275 p
- OEA., 1991: Primer on natural hazard management in integrated regional development planning.
- PANIAGUA, S. & SOTO, C., 1986: Reconocimiento de los riesgos volcánicos potenciales de la cordillera central de Costa Rica, América Central. Cienc. Tec. 10 (2): 49-72, San José Costa Rica.
- ROJAS, W., COWAN, H & LINHOLM, C., DAHLE, A & BUNCUM, H., 1993: Regional seismic zonation for Central America. A preliminary model. NORSAR.
- VAHRSON, W, ARAUZ, I., CHACON, R., HERNANDEZ, R & MORA, S., 1990: Amenaza de inundaciones en Costa Rica, América Central. Comentarios al mapa 1:500.000. Escuela de Ciencias Geográficas. Universidad Nacional, Heredia.
- WALTHAM, A.C., 1994: Foundations of engineering geology Blackie Academic & Professional. Civil Engineering Department, Nottingham Trent University.

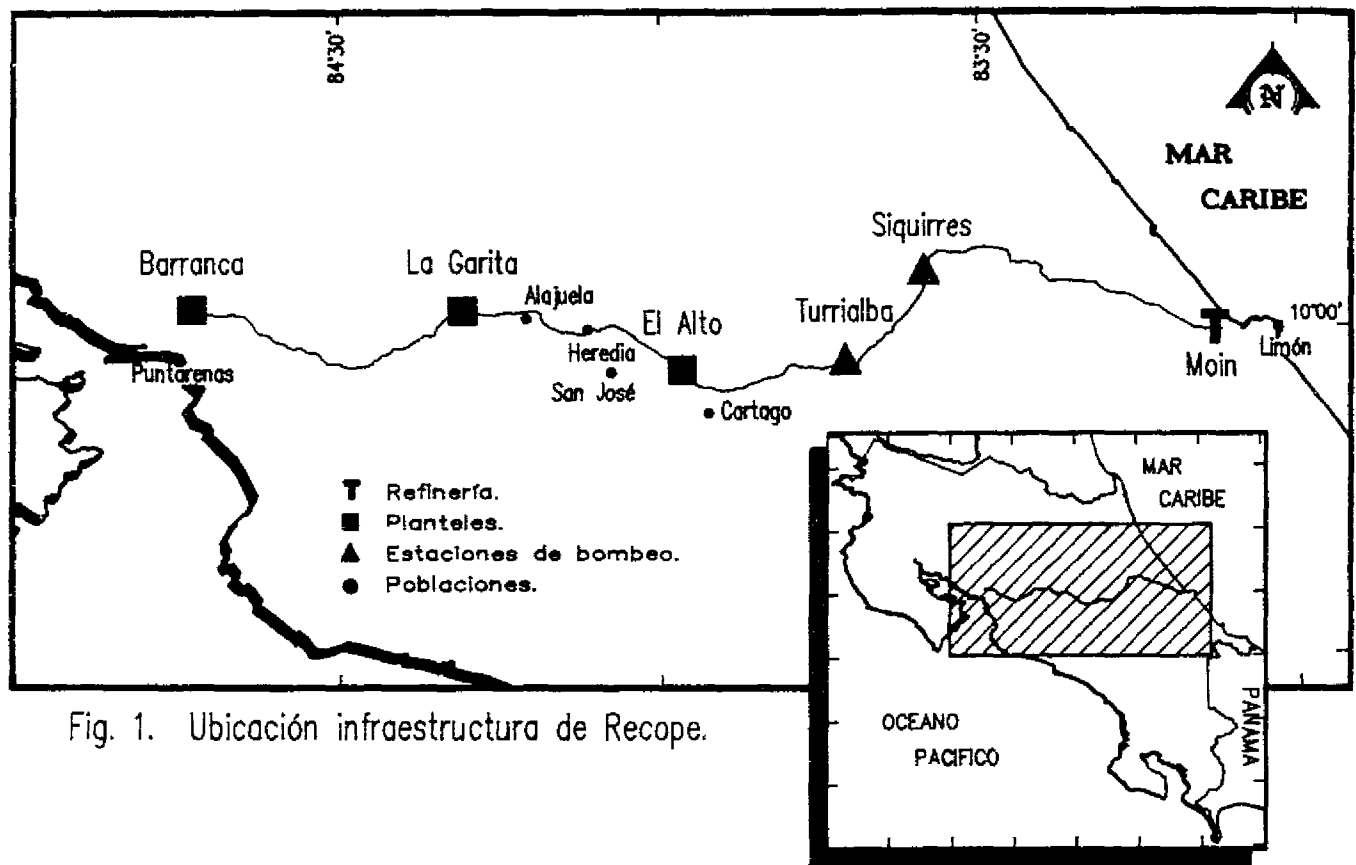


Fig. 1. Ubicación infraestructura de Recope.

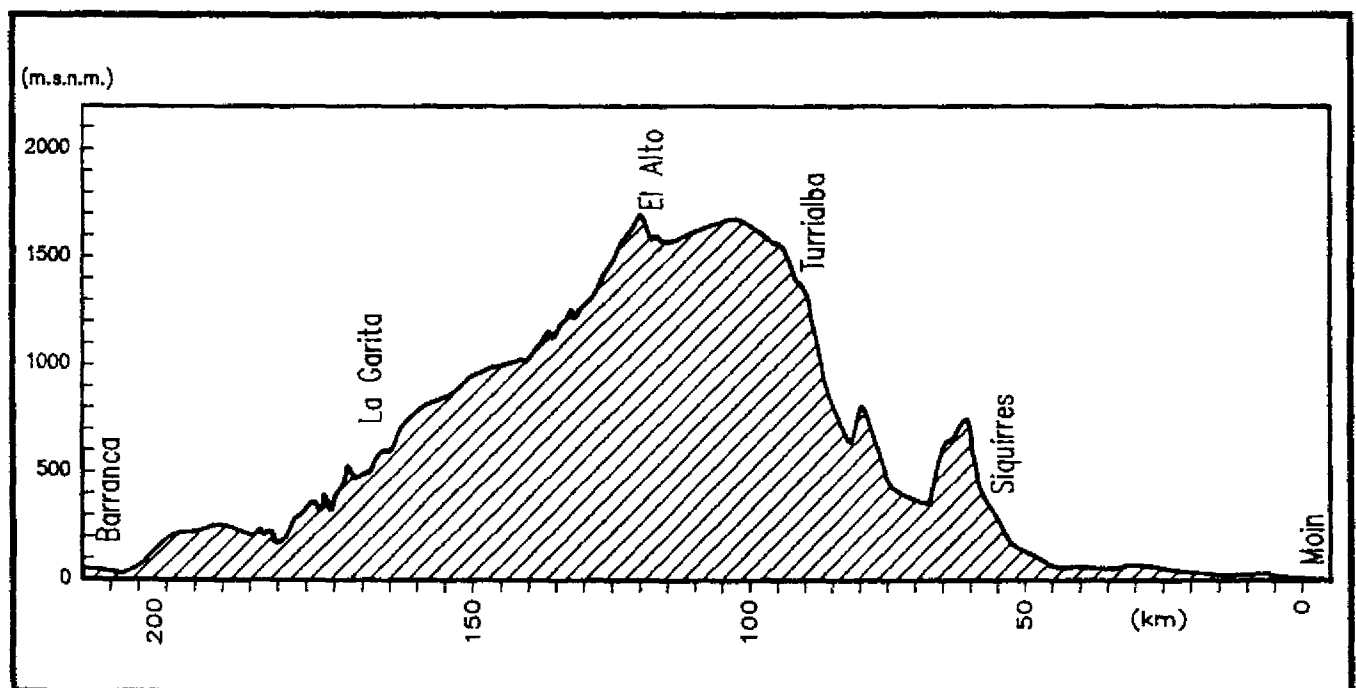


Fig. 2. Perfil topográfico trayecto polducto.

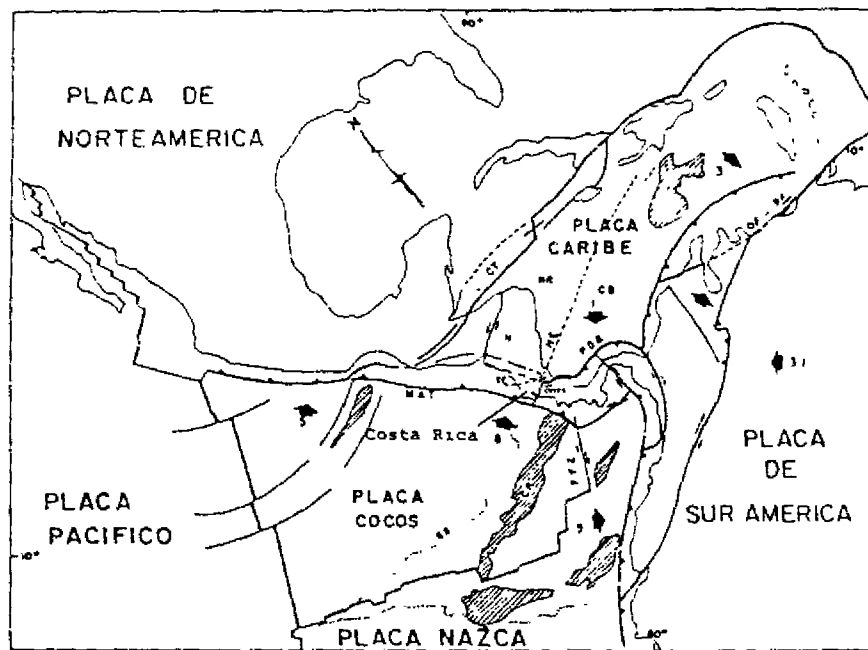
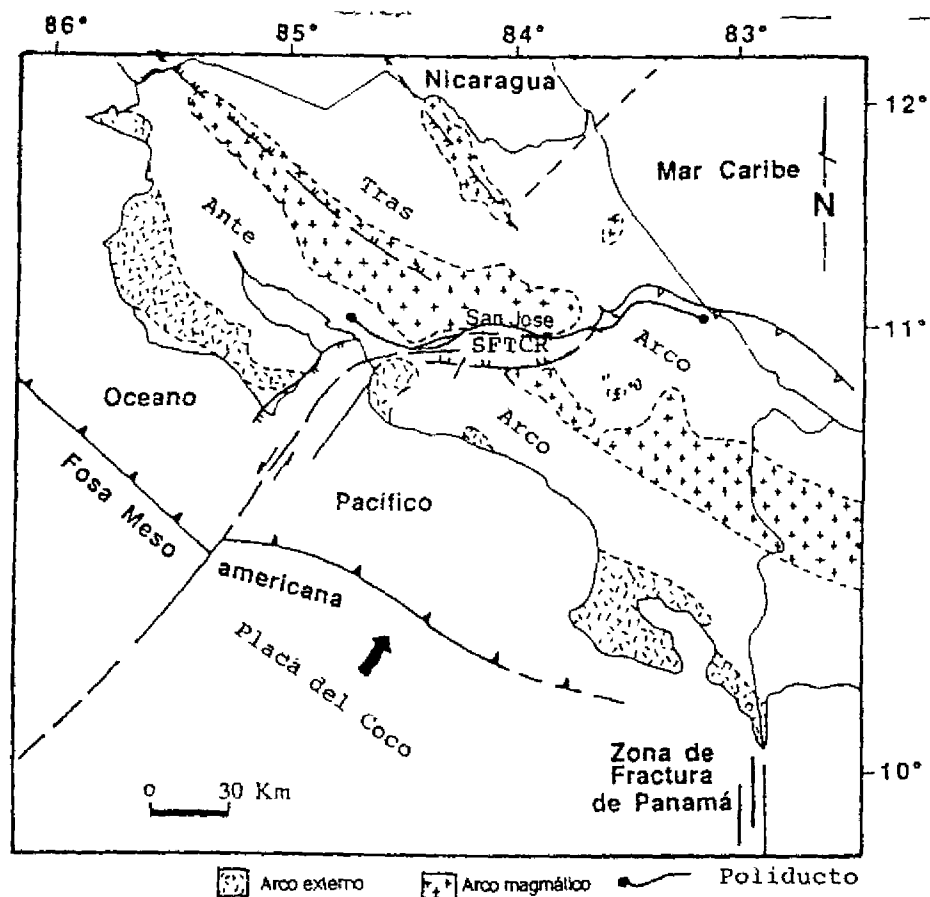


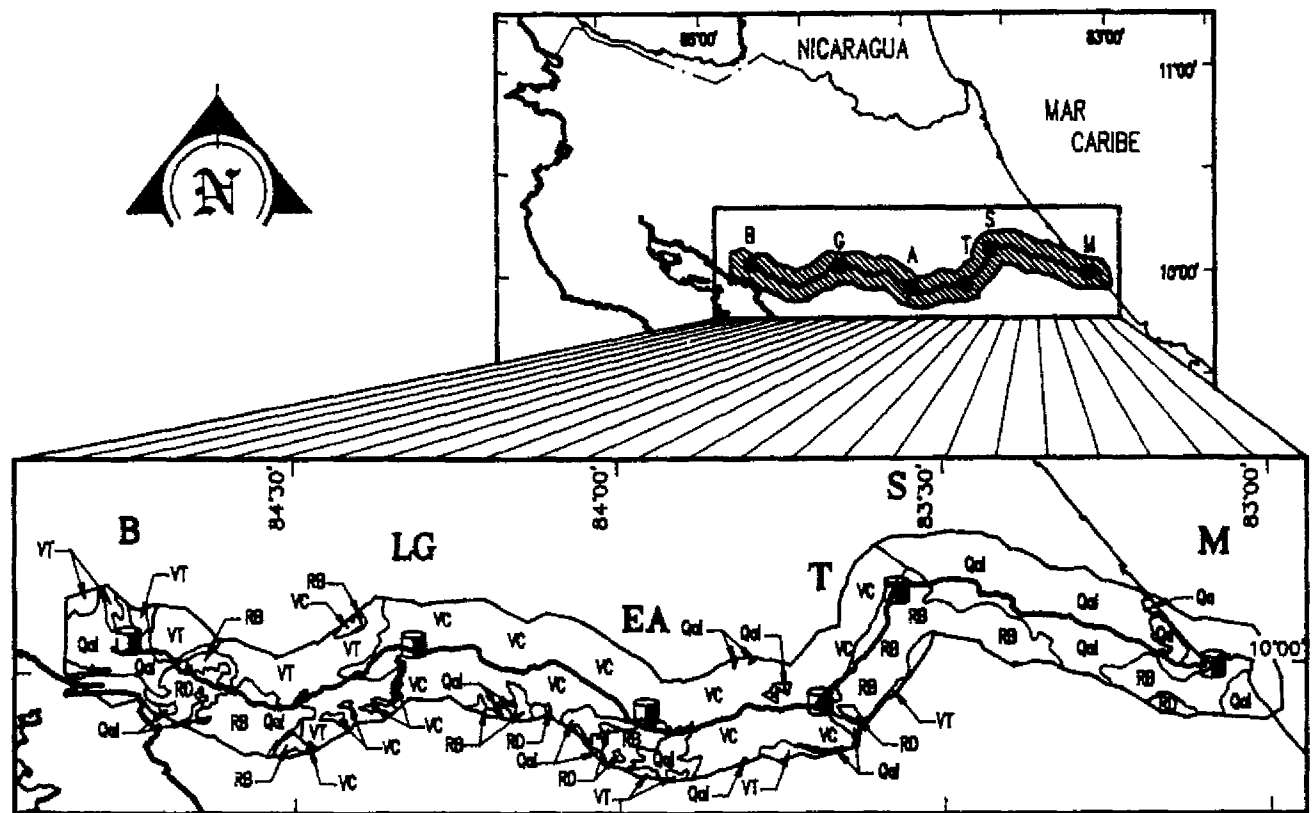
Figura N.3

Mapa tectónico esquemático de la región de Mesoamérica, con indicación de los rasgos tectónicos principales y movimientos relativos de placas: "CT" Cayman Trough = Cubeta de Caiman; "NR" Nicaragua Rise = Levantamiento de Nicaragua; "SE" = Santa Elena; "N" = Nicaragua; "HE" Hess Escarpment = Escarpe de Hess; "CB" Colombia Basin = Cuenca de Colombia; "PDB" Panama Deformed Belt = Cinturón Deformado de Panamá; "OC" Oca Fault = Falla de Oca; "PF" El Pilar Fault = Falla El Pilar; "CRTFS" Costa Rica Transcurrent Fault System = Sistema de Falla Transcurrente de Costa Rica; "MAT" Middle America Trench = Trincheras Mesoamericanas; "CR" Cocos Ridge = Dorsal de Cocos; "PFZ" Panama Fracture Zone = Zona de Fractura de Panamá. Modificado de CASE & HOLCOMBE (1980).

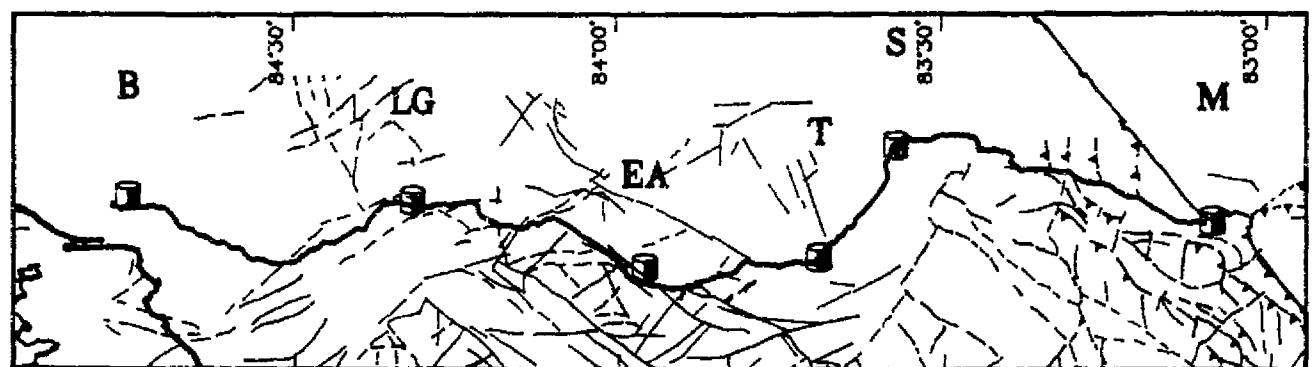


SFTCR: Sistema de Falla Transcurrente de Costa Rica

Figura N. 4 - Esquema tectónico de Costa Rica.



MAPA GEOLOGICO



MAPA ESTRUCTURAL

0 20 40 60 80 km
ESCALA GRAFICA

LEYENDA, Mapa Geológico	
Qal	Aluvión Cuaternario.
Qa	Manglares y sectores inundables
VC	Suelos Volcánicos Cuaternarios.
VT	Suelos Volcánicos Terciarios.
RB	Rocas Blandas.
RD	Rocas Duras.

NOMENCLATURA	
B	Plantel Barranca
LG	Plantel La Garita
EA	Plantel El Alto
T	Estación Turrialba
S	Estación Siquirres
M	Refinería Molin

FIG. 5. Mapa Geológico y Estructural generalizados trayecto poliducto (modificado del Mapa Geológico Nacional, proyecto conjunto CNE, UCR, DGM, UNA, RECOPE, BGS, 1995, y Mapa Estructural-Tectónico de Costa Rica de Fernández, 1994).

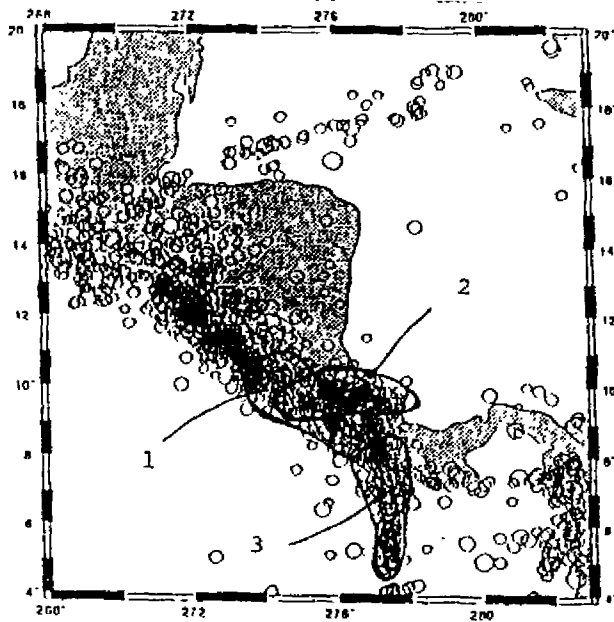


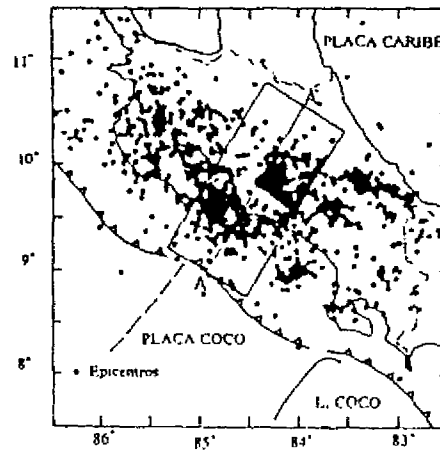
Fig. 6a Principales zonas sísmicas de Costa Rica. Los datos de la figura corresponden con sismos con magnitud momento mayor a 4.0 y profundidades de 0 a 30 km.

1. Zona de subducción
2. Zona de deformación del Sistema de Falla Transcurrente de Costa Rica.
3. Zona de fractura de Panamá.

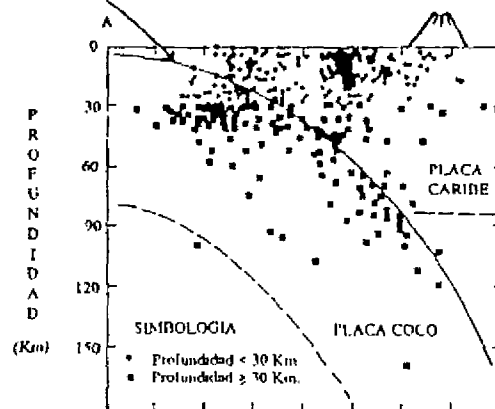
Modificado de Rojas et al, 1993.

Fig. 6b Sísmicidad de Costa Rica para magnitudes mayores o iguales a 3.5, correspondientes al período 1975 - 1992. En la parte inferior se presenta un perfil orientado SE-NO.

Modificado de Montero, 1994



Subducción Cordillera volcánica



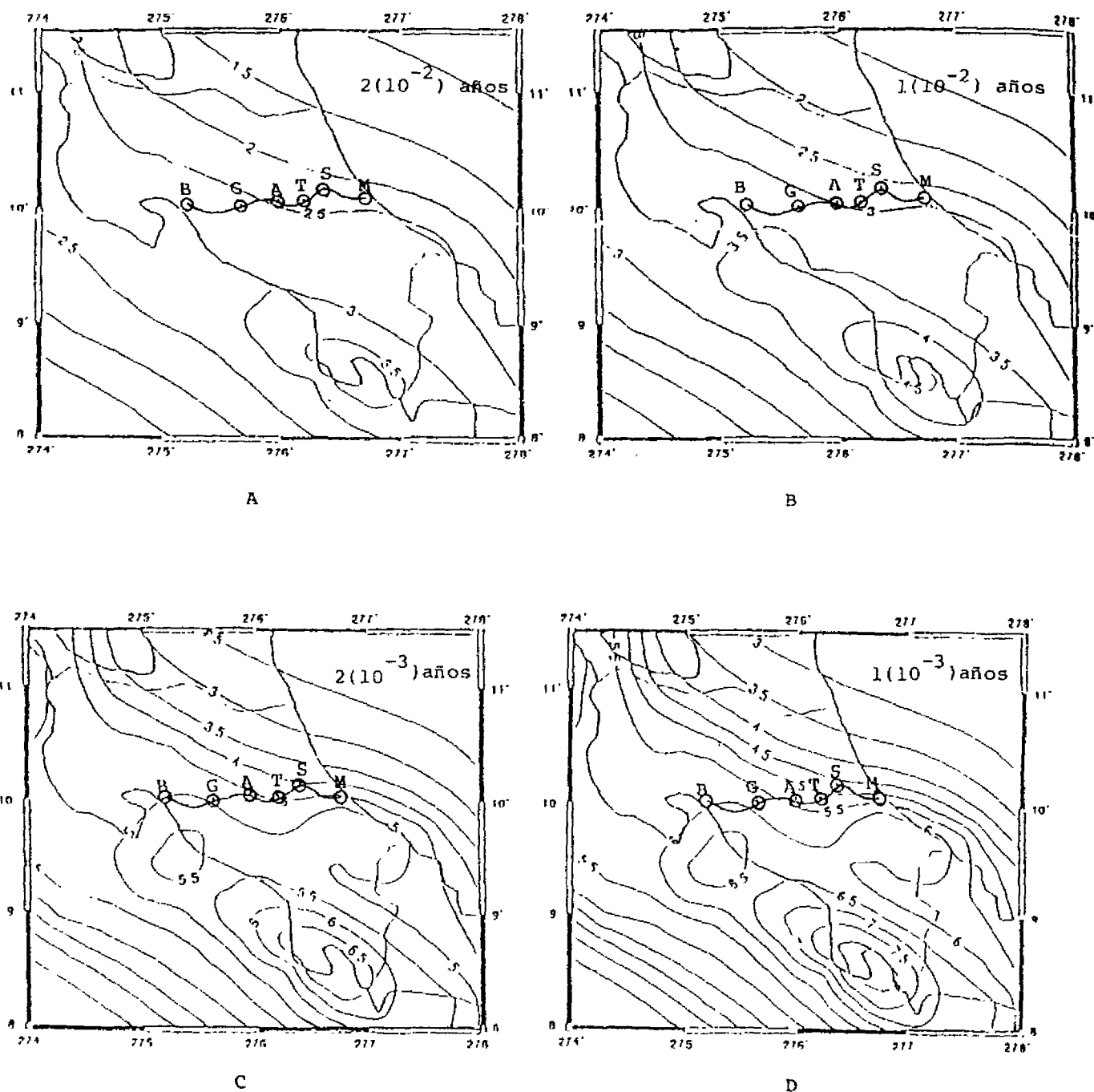
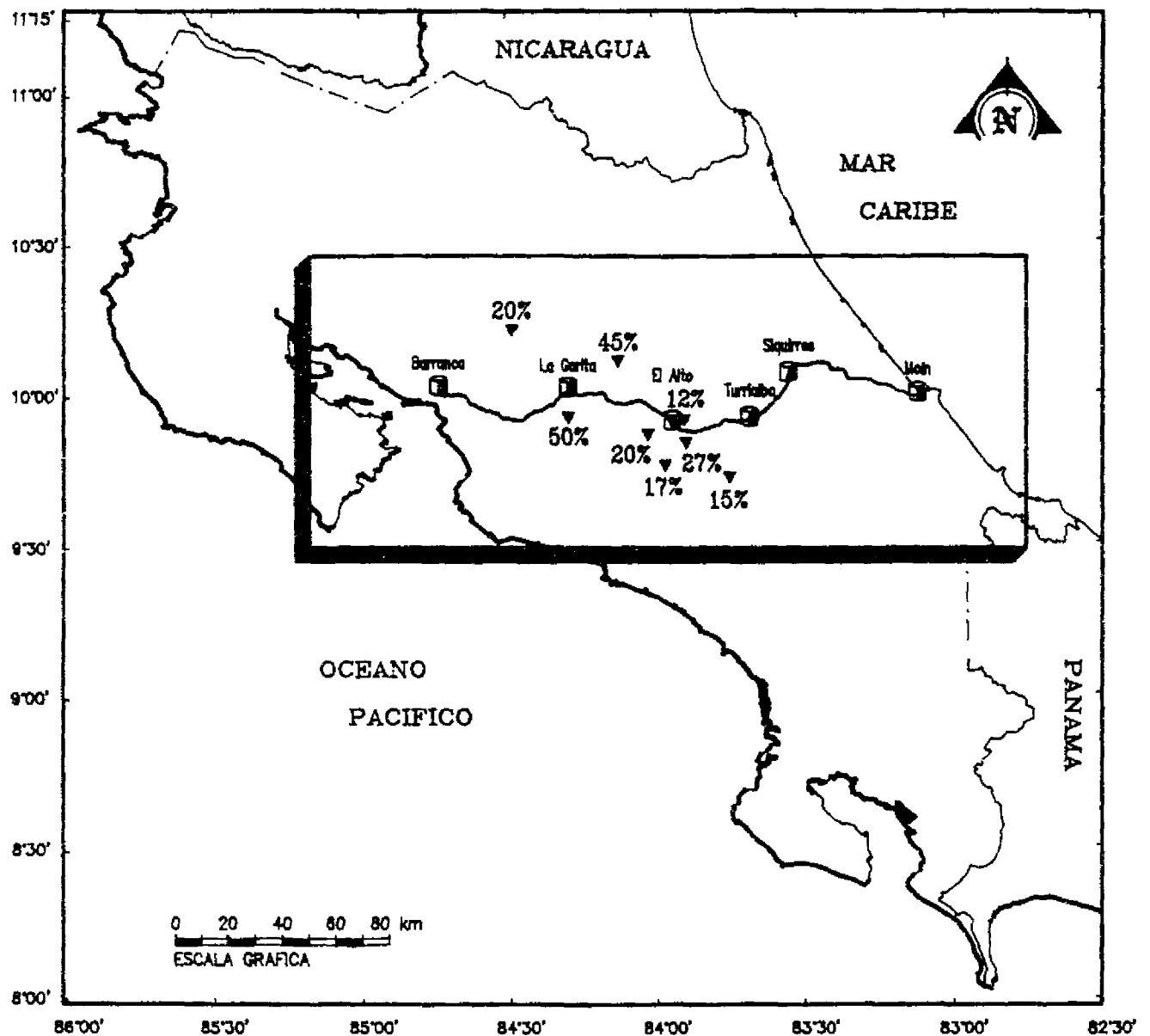


Fig. 7. Contornos de aceleración pico del terreno en m/s^2 para la componente horizontal mayor del movimiento del terreno con 5% de amortiguamiento, para una probabilidad de excedencia de $2(10^{-2})$, $1(10^{-2})$, $2(10^{-3})$ y $1(10^{-3})$ /años. Se indica además la posición relativa de las instalaciones de RECOPE, en donde:

B=Plantel de Barranca, G=Plantel La Garita, A=Plantel El Alto, T=Estación de Turrionalba, S=Estación de Siquirres y M=Refinería en Moín.

Modificado de Laporte et al, 1994)



FUENTE: Laboratorio de Ingeniería Sísmica-UCR, Instituto Costarricense de Electricidad-ICE.

FIG. 8. VALORES DE ACCELERACIONES REGISTRADAS CERCA DE LA INFRAESTRUCTURA DE RECOPE.

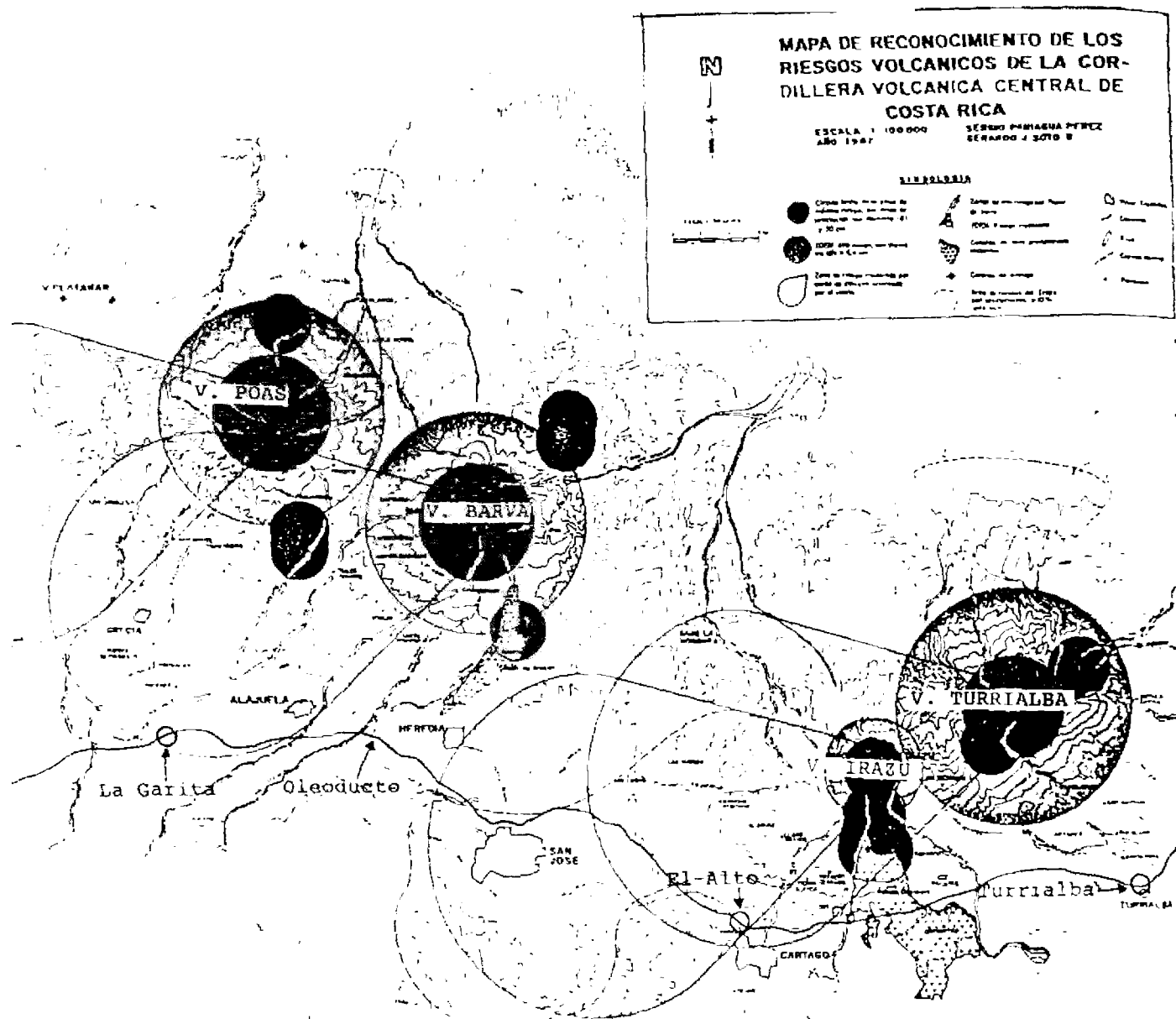
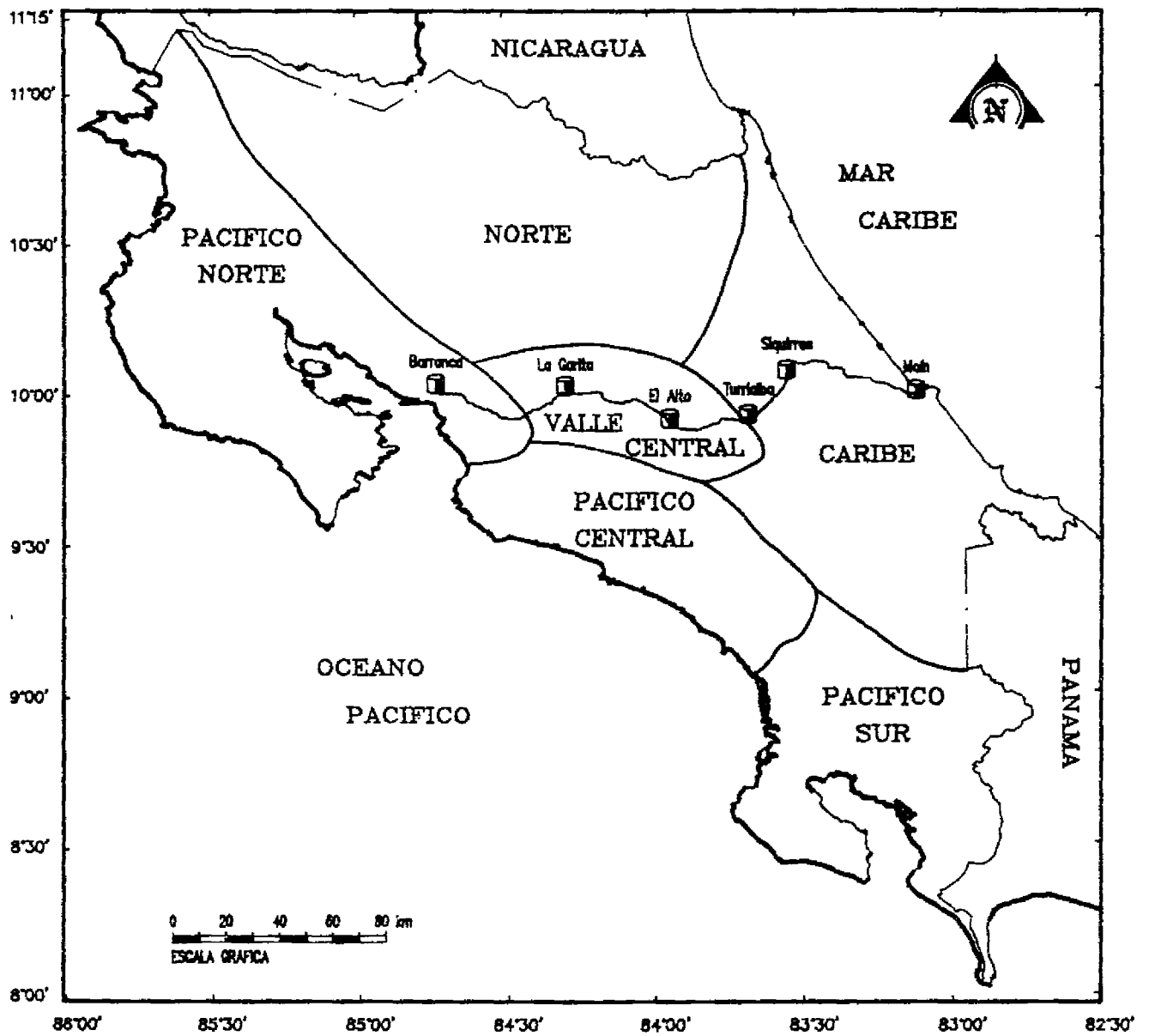
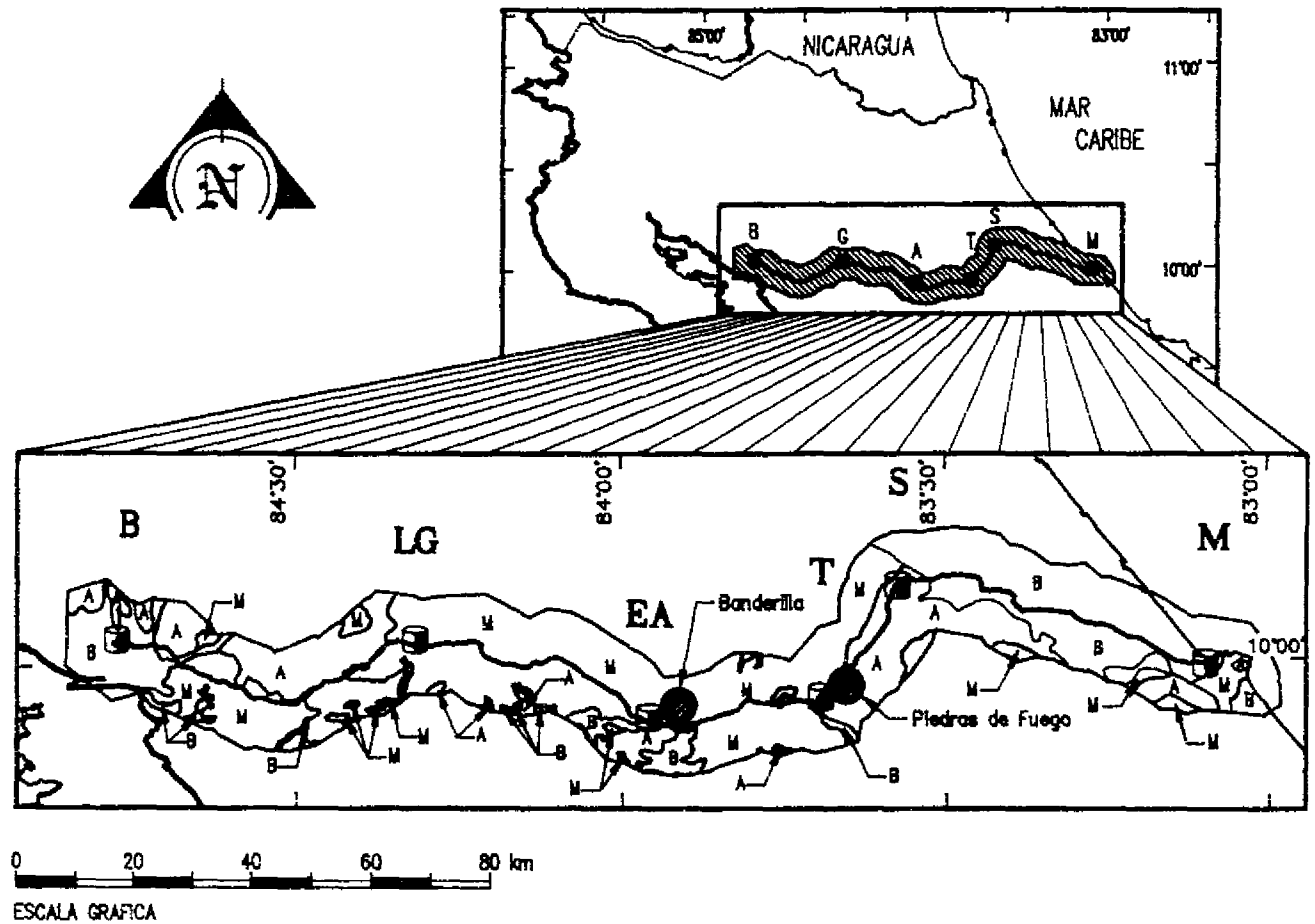


Fig. 9. Ubicación de la infraestructura de RECOPE con respecto a los riesgos volcánicos de la Cordillera Volcánica Central de Costa Rica. (Modificado de Paniagua y Soto, 1987).



FUENTE: Instituto Meteorológico Nacional

FIG. 10. ZONAS CLIMATICAS DE COSTA RICA Y UBICACION DE INFRAESTRUCTURA DE RECOPE.



LEYENDA	
Potencial de deslizamiento	
B	BAJO
M	MEDIO
A	ALTO
	DESIZAMIENTOS MAYORES

NOMENCLATURA	
B	Plantel Barranca
LG	Plantel La Garita
EA	Plantel El Alto
T	Estación Turrialba
S	Estación Siquirres
M	Refinería Moh

FIG. 11 Mapa del potencial del deslizamiento en el trayecto del poliducto (Modificado del mapa sobre el potencial de deslizamientos del proyecto conjunto CNE, UCR, DGM, UNA, RECOPE, BGS, 1995).