

## RESUMENES DE TESIS

### PROGRAMA PARA ANALISIS DE DATOS SISMOLOGICOS DE COSTA RICA (PROGRAMA ANASIS VERSION 1.0)

Guillermo A. Avila Romero

Tesis Licenciatura, 1989; 60 págs., 12 figs., 5 tablas, 6 apéndices.

El programa ANASIS VER 1.0 ha sido diseñado tomando en consideración las necesidades mínimas de un centro de investigaciones sismológicas, de modo que por medio de él se efectúen los cálculos sismológicos tradicionales en forma rápida.

El programa fue diseñado de tal forma que tuviera su propio sistema de creación de bases de datos y a partir de ellas poder obtener diferentes tipos de resultados. El programa permite una vez creadas las bases de datos poder corregirlas, listarlas tanto en pantalla como por el impresor, además de editar boletines sismológicos. También permite ver los sismos graficados en planta y en perfil o en forma tridimensional.

En el caso de la planta, es posible hacer ampliaciones de zonas donde los sismos están muy concentrados y no se puede obtener una definición clara de la ocurrencia de los mismos. Desde el punto de vista de la evaluación del valor de "b" de la ecuación de Richter el programa cuenta con tres posibles métodos. El primero es la evaluación de valor "b" usando sólo las frecuencias de ocurrencia, el segundo en normalizado los datos entre el tiempo y el tercero le permite al usuario usar un factor de normalización a con-

veniencia por ejemplo área, volumen u otro que considere conveniente. Un cuarto sistema de evaluación es por medio del método de cascarones esféricos (Avila, 1981).

Desde el punto de vista del diseño del programa, éste se diseñó de modo que pudiera ser usado en computadores del tipo AT o XT sin ningún tipo de unidades periféricas sofisticadas que impidieran restringir su uso por falta de ellas.

El programa ANASIS se aplicó a la zona de Quepos para estudiar el valor "b" de la ecuación de Richter y se encontró que el valor de "b" analizando un cascarón máximo de 100 km en  $b = 0.63$  y el tiempo de retorno para sismos con magnitudes mayores o iguales a 5.8 es de 28.1 años y puesto que el período observado es de 28 años se podría considerar que el acuerdo con el modelo estadístico usado, debería de ocurrir un sismo igual a mayor de 5.8 en los próximos meses. El factor de correlación para esa zona es de 0.79 lo cual nos indica que la estimación estadística es muy confiable por lo tanto la ecuación de Richter para la zona queda definida como:

$$\log f(n) = 2.23 - 0.63 \cdot M_b$$

**ESTUDIO GEOLOGICO Y GEOFISICO DEL CAMPO GEOTERMICO  
LAS PAILAS, PARQUE NACIONAL RINCON DE LA VIEJA,  
GUANACASTE, COSTA RICA**

Arnulfo Arturo Quesada Muñoz

Tesis de Licenciatura 1989; 67 págs., 23 figs., 10 cuadros, apéndice.

Un estudio geológico y de prospección geofísica (métodos eléctrico, magnetométrico y gravimétrico) se ha realizado en el campo geotérmico Las Pailas, al pie del flanco sur del Guanacaste) para evaluar sus características geológicas, geofísicas y geotérmicas.

Se cartografiaron cuatro unidades de rocas Cuaternarias: Unidad de Ignimbritas, Unidad de Lavas Andesíticas, Unidad de Lahares y Unidad de Coluvios y Aluviones.

La carta de Bouguer ( $\rho = 2,4 \text{ g/cm}^3$ ) de la región muestra anomalías negativas que pueden asociarse con cuerpos ignimbriticos de gran espesor o con fracturas y anomalías positivas asociadas con lavas. Localmente, un levantamiento gravimétrico a detalle muestra un incremento positivo al NE, lo cual indica un buzamiento del basamento local al SO. En la carta magnética local sobresale una anomalía negativa (hasta -600 gammas), la cual coincide con la mayor concentración de manifestaciones hidrotermales en superficie. En el resto del mapa magnético predominan las anomalías negativas sobre las positivas, lo que podría corresponder con masas ígneas de gran espesor en profundidad, alteradas hidrotermalmente.

La prospección geofísica ha permitido obtener un modelo de este campo geotérmico, formado por cuatro capas 1) capa somera de 100-300m de espesor, compuesta por lavas andesíticas, lahares y flujos piroclásticos, con resistividades entre  $20-200 \pm 20\%$  ohm-m, densidad de  $2,1-2,2 \text{ g/cm}^3$  y susceptibilidad magnética posiblemente entre  $1,5 \times 10^{-3}$  y  $3,5 \times 10^{-3}$  unidades

c.g.s.; 2) capa sello constituida posiblemente por lavas y flujos piroclásticos con fuerte alteración hidrotermal, conductiva (1,5-15 ohm-m), de baja densidad ( $2,0 \text{ g/cm}^3$ ), de susceptibilidad magnética muy baja ( $< 0,1 \times 10^{-3}$  unidades c.g.s.) y de baja permeabilidad; 3) basamento resistivo (50-500 ohm-m) que se considera como el reservorio geotérmico. Su techo está a profundidades entre 400-800 m y puede estar formado por rocas volcánicas y volcánico-sedimentarias muy fracturadas por lo que debe tener alta permeabilidad; y 4) basamento gravimétrico local de alta densidad ( $2,5-2,7 \text{ g/cm}^3$ ) que subyace al reservorio. Su techo se ubica a profundidades entre 1,4 y 2,0 km. Comparando el modelo geoelectrico obtenido con el del campo Miravalles (20 km al E), se podría esperar un campo geotérmico de alta entalpía, entre  $200^\circ \text{C}$  y  $250^\circ \text{C}$ .

Se registraron en los sismógrafos portátiles diez sismos volcánicos, nueve de tipo A (volcano-tectónico) y uno de tipo B (volcánico) entre el 20 de enero y el 18 de febrero de 1988.

Temperaturas superficiales de hasta  $98,7^\circ \text{C}$  se midieron en las fuentes termales, hervideros de lodo y volcancitos de barro. En las fuentes termales el pH medido varía entre 2,5 y  $5,5 \pm 0,5$ , mientras que en los ríos es de  $7,0 \pm 0,5$ .

Dadas las características geológico-geofísicas favorables del campo, se recomienda ampliar e intensificar los estudios, ya que representa un buen prospecto para el desarrollo geotérmico del país.

## GEOQUIMICA Y GEOLOGIA ESTRUCTURAL DEL YACIMIENTO AURIFERO BELLAVISTA, MIRAMAR, PUNTARENAS, COSTA RICA

Alan G. Cosillo Pinto

Tesis Licenciatura 1989; 169 págs., 30 figs., 15 pérf., 7 gráf., apéndice

La información que se condensa en este trabajo sobre la Mina Bellavista y alrededores puede ser útil en exploraciones futuras dentro del distrito minero de Miramar. Se aportan consideraciones sobre la geología básica y se trata de explicar mediante un modelo el origen de la mineralización. Se hace énfasis en los aspectos geomorfológicos, geológicos, estructurales, petroquímicos y geoquímicos con especial atención en el yacimiento Bellavista.

Se cartografiaron 6 miembros informales dentro del Grupo Aguacate: Miembro Informal (M.I.) de Andesitas, M.I. de Intercalaciones de Brechas y Andesitas, M.I. de Intrusivos "Tajo Alto", M.I. Diques Andesíticos, además de flujos andesíticos de la Fm. Monte Verde y un Miembro de Unidades Cuaternarias.

La Mina Bellavista se emplaza dentro del M.I. de Intercalaciones de Brechas y Andesitas. Se ha determinado que la litología del Grupo Aguacate que aflora dentro del yacimiento manifiesta una tendencia toleítica.

Los controles de la mineralización en el Yacimiento Bellavista consisten en un sistema de fallas de cizalle conjugado con dirección 035/82SE y 115/78NW; un sistema de fallas de tensión con dirección 84/82NE y una zona de stockwork cerca de las vetas mayores. La zona mineralizada es cortada por una falla lateral derecha con rumbo 350/81NE (Falla Liz). La geometría del sistema de fallas se asocia con esfuerzos provocados por una cupla con dirección NE.

Se han determinado los parámetros estadísticos básicos para Au, Ag, Pb, Zn, Cu, Sb, Hg, Mn, Na, K y Fe. Se determinó el fondo geoquímico para estos elementos en el área de Miramar, y los valores estadísticos de los anteriores elementos para el Yacimiento Bellavista.

La zonación geoquímica vertical (axial) está dominada por Hg, ±As, estos elementos muestran mayores concentraciones cerca de la superficie y tienden a decrecer en profundidad, mientras que la relación Au/Ag tiende a aumentar (en promedio se determinó Au/Ag = 1:3). La zonación geoquímica lateral (perpendicular a las vetas) está controlada por los siguientes elementos Au + Ag + Pb ± As.

Las asociaciones geoquímicas determinadas a partir de análisis estadístico de factores son: a) As + Sb + Hg y Au + Ag ± Pb y probablemente Fe + Cu + Na - K se relacionan directamente con los procesos de la mineralización aurífera. b) Zn + Pb + Hg relacionado con los metales bases del yacimiento. c) Cu ± Na se relaciona con la zona de oxidación?. d) Mn, Ca, Na elementos formadores de la roca. Los elementos Ag y Pb por su alta correlación con Au pueden utilizarse como elementos guía para zonas mineralizadas cercanas al yacimiento Bellavista.

Se determinó una zonación gradual generalizada de la alteración hidrotermal que es principalmente controlada por la fracturación y la porosidad de la roca caja. La zonación varía de la más externa hacia la zona de mayor alteración en: a)

Propilítica con clorita predominante; b) Sericítica  $\pm$  argilítica; y c) Silícica  $\pm$  argilítica intensa. Esta zonación también se da a escala de veta.

El nivel estructural del depósito Bellavista es bastante somero, como lo indica la baja salinidad, y presiones determinadas por Laguna (1987),

además de la fina textura de la mineralización (Gasparini, 1987) y la abundante piritita. El yacimiento se asocia con el modelo de Cuarzo-Adularia de Eimon & Berger (1983 en Silberman & Berger, 1985).

## INCIDENCIA DE LAS FUENTES SISMICAS EN LA REGION CARIBE DE COSTA RICA

Ileana María Boschini López

Tesis de Licenciatura, 1989; 97 págs., 22 figs., 12 cuadros, 2 anexos

La región Atlántica de Costa Rica ha sido considerada como una zona de bajo potencial sísmico, los estudios recientes demuestran que existen estructuras geológicas capaces de producir eventos sísmicos de magnitudes considerables, lo cual es confirmado también por la actividad sísmica histórica.

Durante el siglo XVIII, ocurrieron dos sismos de magnitud moderada que afectaron la región de Matina, cuya fuente puede ser muy probablemente, una falla local. Igualmente el evento del 7 de enero de 1953, se asocia a alguna fuente local cercana a la ciudad de Limón, luego de haber sido estudiado con detalle el patrón de intensidades que se generó (VII intensidad máxima regional), se obtuvo una magnitud de 5.5, una profundidad de 13 km.

El estudio de dos eventos ocurridos el 20 de diciembre de 1904 y el 5 de diciembre de 1941, permite ubicarlos en la Zona Sísmica de Osa. Al comparar las distribuciones de intensidades de estos sismos con otros eventos de esta misma zona sísmica, se puede afirmar que los efectos que causaron en la región Atlántica, han sido muy variables debido probablemente a la dirección de propagación de la ruptura, que define el patrón de radiación de la energía de las ondas S.

La actividad sísmica instrumental de los últimos cinco años se presenta como eventos aislados distribuidos tanto en la llanura aluvial del Atlántico, como en la zona de las cordilleras. En la cordillera de Talamanca se observa una distri-

bución aleatoria de los escasos epicentros, mientras en la Cordillera Central, la actividad registrada es muy poca.

La Zona de Fractura de Panamá y la Zona de Fractura incipiente de Costa Rica no representan peligro de aceleraciones fuertes para la región de Siquirres.

De los microtemblores que fueron ubicados por medio de la red portátil. Todos poseen magnitudes menores que 2.0 y ocurrieron a menos de 40 km de profundidad, la mayoría a menos de 20 km.

El análisis de dos sismos de profundidad intermedia (1948 y 1951) permiten concluir que los daños que causan se limitan a áreas muy restringidas, debido al tren de ondas verticales, producen severos daños en el comercio y las construcciones de baja calidad (adobes).

El límite morfológico entre la llanura aluvial del Atlántico y las cordilleras Volcánica Central y Talamanca, presenta evidencias de fallamiento activo, aparentemente inverso. El frente de montaña tiene rumbos variables, la morfología en algunas partes es típica de un continuo rejuvenecimiento de formas. Se ha dividido en varios tramos, según sus características morfológicas, rumbo, y aparente grado de complejidad. Así, los tramos de Guápiles y Baja Talamanca aparentan tener una estructura tectónica sencilla, cerca de Siquirres hay varias escamas de fallamiento, y la ciudad de Limón está localizada en una zona tectónica compleja.

## BASE GEOLOGICA PARA LOS ANALISIS GEOTECNICOS DEL PROYECTO HIDROELECTRICO SIQUIRRES, PROVINCIA DE LIMON, COSTA RICA

José Fco. Cervantes Loaiza

Tesis de Licenciatura, 1989; 117 págs., 15 figs., 6 lám., 2 apéndices

El estudio geológico del P.H. Siquirres cubre un área aproximada de 156 km<sup>2</sup> y constituye la base para los análisis geotectónicos de las obras civiles a construir, en especial la estructura de presa proyectada para tener una altura de 200 m.

Los análisis han permitido definir una secuencia estratigráfica que incluye desde sedimentos de talud de edad Paleoceno-Eoceno hasta sedimentos continentales de edad principalmente Pleistocénicos. Los resultados no se alejan de lo ya conocido para la Cuenca de Limón, con la excepción de algunas características particulares. La cuenca media del Río Pacuare posee en su base la Formación Tuis constituida por flujos de escombros y de granos, intercalado con lavas andesíticas con estructura en almohadilla que evidencia una efusión submarina.

La sobreyace la Formación Senosri de poco espesor en el área y se caracteriza por poseer flujos de escombros carbonatados. Inmediatamente aparece la Formación Uscari y sobre ella discordantemente la Formación Río Banano de am-

biente deltaico proximal. En la cúspide y colmatando la cuenca se presentan conglomerados aluviales intercalados con flujos laháricos, denominados como Formación Suretka. En el Plioceno se presenta un evento volcánico muy localizado y con características particulares, pues son lavas alcalinas producto de un magma poco evolucionado, se le denomina en este trabajo como Formación Alcalina de Guayacán. La secuencia es afectada por una deformación compresiva en el Mioceno Superior y a partir del Plioceno domina una deformación distensiva.

Las lavas alcalinas representan el sustrato donde se fundarán la mayor parte de las obras. Estas presentan algunos problemas geotécnicos, sin embargo, el sitio es adecuado para construir una presa cuya elevación de cresta será de aproximadamente 250 m. La sismicidad posee una relevancia importante para escoger el tipo de presa, pero los actuales estudios no permiten efectuar los análisis pertinentes, debido a que no existe un modelo tectónico claro.

## EVALUACION DE LA AMENAZA SISMICA PARA EL AREA GEOTERMICA DE BERLIN EL SALVADOR, AMERICA CENTRAL

Guillermo Napoleón Morán Orellana

Tesis de Licenciatura, 1989; 73 págs., 19 figs., apéndice

Esta investigación es una evaluación de la amenaza sísmica en el sitio geotérmico de Berlín a fin de estimar la aceleración máxima (parámetro dinámico de movimiento del suelo) para el diseño antisísmico de las obras civiles que se vayan a emplazar en la zona.

El sitio geotérmico de Berlin se ubica en la ladera Noroeste del Macizo Volcánico de Tecapa. En una región de gran inestabilidad tectónica y volcánica.

La evaluación de la amenaza sísmica se hizo tanto determinística como probabilística. Para la evaluación probabilística se utilizó el método de Cornell (1968). El estudio abarcó un radio de 100 km alrededor del sitio geotérmico a fin de considerar todas las posibles fuentes de terremotos que pudieran afectarlo.

La integración de la geología, geología estructural, geotectónica, emplazamiento de la cadena volcánica activa, y la información de la actividad sísmica histórica y reciente ha permitido delinear dos grandes fuentes sismogénicas, siendo éstas la

zona de Wadatti-Benioff en la región de contacto de las Placas de Coco y Caribe con magnitudes máximas estimadas de  $M_s = 7.5$ ; y la presión central que atraviesa El Salvador con rumbo NW-SE en la cual de acuerdo a la historia sísmica se considera una magnitud máxima probable de 6.5  $M_s$ .

El análisis determinista se hizo tomando en cuenta únicamente las fuentes de fallamiento local obteniéndose un valor de aceleración pico máxima de  $498 \text{ cm/s}^2$  (gales) para un evento de magnitud 6.5 ML y a una distancia hipocentral de 5.8 km.

Del análisis determinista y probabilístico se propone para efectos de diseño un intervalo de probabilidad de excedencia anual de  $1(10^{-2})$  a  $2(10^{-3})$  que corresponde a un rango de aceleraciones entre  $273.6 \text{ cm/s}^2$  (.279g) y  $433.8 \text{ cm/s}^2$  (.442 g). Estas aceleraciones representan una probabilidad de excedencia del 39% al 10% para la vida útil de la obra civil correspondiente a 50 años.

## INVESTIGACION GEOLOGICO-AMBIENTAL DEL PROYECTO TUNEL DE PEJIBAYE, CARTAGO, COSTA RICA

Ronald Valverde Guillén

Tesis de Licenciatura, 1989; 138 pág., 80 figs., apéndice

Esta investigación abarca el estudio geológico-geotécnico del área de influencia del proyecto Túnel de Pejibaye y de las implicaciones ambientales de su construcción sobre la Reserva Forestal de Río Macho.

El proyecto es propiedad del Instituto Costarricense de Electricidad y está localizado en la provincia de Cartago-Costa Rica. En la ejecución de éste se trasvasan las aguas de la cuenca superior del Río Pejibaye (185.700 N/565.750 E) al Río Grande de Orosí (185.864 N/ 563.360 E) a través de un túnel de 2.4 km de longitud. La construcción del mismo fue por la disminución del volumen de agua para la generación en la Planta Hidroeléctrica Río Macho, por la entrada en operación del acueducto de agua potable Orosí-San José.

De la investigación geológica realizada se obtuvo que el basamento regional corresponde con la Unidad metasedimentaria siliciclástica Tapantí, constituida por rocas sedimentarias y facies metamórfica de tipo corenana (cornubianita) de la Formación Pacacua, representada por depósitos tipo fan- delta y con una fauna del Mioceno Inferior basal.

La Unidad de intrusiones asociada al Grupo Comagmático de Talamanca es la causante del metamorfismo a la vez que intruye la secuencia del basamento. Su composición mineralógica es variable y generó tonalitas, dioritas, microdioritas, monzodiorita y gabros, datados por K/Ar con

una edad del Mioceno Medio Superior. En la cúspide de la secuencia local y depositada discordantemente, se encuentra la Unidad Conglomerádica de la Formación Río Macho, que es propia de un ambiente continental, y es sincrónica con las Formaciones de Suretka y Paso Real.

La tectónica tensional presente generó el fallamiento mayor y el alto fracturamiento. Por su parte el metamorfismo ha provocado parte de la arcillificación y la alta silificación existente, afectando la calidad mecánica de las rocas excavadas y el comportamiento hidrogeológico del macizo rocoso.

Los sectores del macizo, atravesados durante la excavación del túnel y con baja calidad mecánica, se superaron con la colocación de los soportes temporal y final. En la presa del Pejibaye se debió implementar otras medidas ingenieriles correctivas para disminuir los efectos de la falla Destierro que la subyace. Además se estabilizó el talud derecho del sitio de presa para evitar un posible deslizamiento rocoso.

En la etapa de investigación geológica y durante la construcción del proyecto, se provocaron alteraciones al ambiente en la Reserva de Río Macho, de consecuencias de corto, mediano y largo plazo. Para su evaluación se ha empleado una metodología que describe y evalúa las modificaciones al medio ambiente, a la vez que sugiere las medidas adecuadas de protección.



## ESTUDIO GEOLOGICO-ESTRUCTURAL Y DE ALTERACIONES HIDRO TERMALES DEL AREA MINA DE AGUA-RINCON DE GARCIA, NICARAGUA

Dionisio Rodríguez Altamirano

Tesis de Licenciatura, 1989; 100 págs., 21 figs., 7 fot., 5 cuad., apéndice

El área Mina de Agua-Rincón de García se ubica al NW de Nicaragua en una zona de transición entre la margen nororiental de la Depresión Nicaraguense y la Secuencia Volcánica Terciaria. Las rocas del área pertenecen al Grupo Coyol de edad Oligoceno-Plioceno. La mineralización característica es de vetas epitermales con cuarzo aurífero donde la distribución del oro se da en forma errática obedeciendo a controles estructurales y geoquímicos caracterizados por la presencia de bolsones (bonanzas).

Se reconocieron siete unidades litológicas siendo éstas de más antigua a más joven: Lava andesítica, Brechas riolíticas, Tobaríolítica, Domo caldérico riolítico, Toba de flujo riolítico, Rocas hipoabisales y material coluvio-aluvial, siendo la roca huésped de la mineralización la unidad andesítica.

El sistema de vetas es estructuralmente complejo e incluye algunas con buzamiento sub-vertical y sub-horizontal. Las mismas están asociadas con zonas de alteración hidrotermal y especialmente están relacionadas con diques de composición básica a intermedia.

Los depósitos minerales posiblemente están controlados por la caldera de La Coyotera, la que a su vez se subordina a las calderas de Villanueva y El Sauce, dándole un significado de Distrito Minero al área de influencia de este ambiente tectónico.

Se establecieron cinco tipos de alteración hidrotermal: silícica, feldespato-potásica, sericítica, argilítica y propilítica.

El modelo más apropiado para interpretar el origen de las mineralizaciones es el tipo adularia-sericita.