



ESTUDIO NEOTECTONICO DE LA FALLA ZARCERO PARA LA CIUDAD DE ZARCERO Y ALREDEDORES

CNE – LA – No. 2013LA – 000015 - 00200

DESCRIPCIÓN BREVE

Se presentan los resultados de un estudio geológico – neotectónico de la Falla Zarcero para el sector de la ciudad de Zarcero y sus alrededores, bajo la aplicación de diversas metodologías y en cumplimiento del Decreto Ejecutivo No. 32967 – MINAE. Se incluyen alcances para la definición de uso del suelo en las cercanías de la Falla Zarcero como recomendación a la Municipalidad de Zarcero, Alajuela, Costa Rica.

Dr. Geol. Allan Astorga Gättgens
Mayo del 2014

Responsabilidad profesional

EL PRESENTE DOCUMENTO TÉCNICO SE HA ELABORADO EN CUMPLIMIENTO DE LA CLÁUSULA DE RESPONSABILIDAD AMBIENTAL (CF. AL APARTADO 5.14.1. 3 DEL DECRETO EJECUTIVO No. 32967 - MINAE)

Dr. Allan Astorga Gättgens
SETENA CI - 084 - 1998

Autor

Con la colaboración técnica de:

Dr. Andreas Mende

Especialista en Sistema de Información Geográficos

Geol. Emilia Valerín Rosales

Colaboradora

5.14.3.1. Cláusula de Responsabilidad Ambiental por la información aportada: los profesionales que participan como parte de los equipos técnicos que preparan o procesan información temática para el desarrollo de mapas de zonificación de IFA para un espacio geográfico dado, deberán firmar el documento final que se presenta a la SETENA en lo referente al tema por ellos tratados. Como parte de esa firma, se suscribirá la siguiente cláusula de responsabilidad ambiental: ***“El consultor que suscribe la presente información temática es el responsable directo de la información técnica científica que aporta en el mismo. En virtud de ello, la Secretaría Técnica Nacional Ambiental (SETENA), como autoridad ambiental del Estado costarricense, fiscalizará que el documento que se presente haya cumplido con los lineamientos técnicos establecidos mediante el presente procedimiento y si estos se cumplen aceptará la información presentada como cierta y verídica, a modo de declaración jurada. Sobre la base de los datos aportados, y en consideración de los factores de incertidumbre fijados en el informe, la SETENA podría estar tomando decisiones referentes a la Viabilidad Ambiental del uso de suelo planteado a partir de esa información, de modo que en el caso de que se aportara información falsa o errónea, los firmantes no solo serán responsables por esta falta, sino también por la consecuencias de decisión que a partir de esos datos haya incurrido la SETENA*”**

Resumen Ejecutivo

Se presenta aquí el Informe de Final, el cual sintetiza un estudio técnico en el campo de la consultoría en geología y ordenamiento territorial con énfasis en el análisis neotectónico y zonificación de uso del suelo para una falla geológica, designado como: “*Estudio Neo tectónico de la Falla Zarcero para la Ciudad de Zarcero y alrededores*”.

El trabajo se ajusta a los términos de referencia aportados por la CNE en la Licitación Abreviada No. 2013 LA – 000015 – 00200.

El estudio tiene como objetivo primordial la estricta precisión, de acuerdo a la información disponible y alcances del trabajo de campo de la traza de falla, además la aplicación del Protocolo técnico para fallas geológicas establecido en el decreto ejecutivo No 32967-MINAE, para el área de estudio comprendida por la Ciudad de Zarcero y sus alrededores, a fin de integrar la información técnica previamente elaborada y complementarla con nueva información obtenida por proceso de la información digital, investigación de campo (geología, geomorfología), paleo sismicidad (desarrollo de al menos tres trincheras), fotointerpretación y datos hidrogeológicos disponibles a fin de identificar o confirmar con mayor precisión la traza de la falla, el ancho de la zona de ruptura, la zona de seguridad a aplicar y las restricciones de uso del suelo que aplicarían dentro de la zona de seguridad, según los resultados obtenidos por el estudio, los cuales se integraran como un protocolo específico que se entregará a la Municipalidad para su aplicación al momento de tramitar usos del suelo dentro del espacio territorial afectado por la falla geológica.

El área de estudio corresponde con un terreno de aproximadamente 4.5 Km², en cuya parte central pasa la traza de la falla Zarcero, según información técnica previa.

Las conclusiones principales son las siguientes:

1. La Falla Zarcero es una falla geológica regional reconocida por diversos autores desde hace más de 20 años.
2. Se trata de una falla geológica de desplazamiento de rumbo que tiene una longitud aproximada de 30 Km y que se orienta en una dirección NNO – SSE.
3. La Falla Zarcero forma parte de un patrón de fallas geológicas similares que corta la cordillera Volcánica Central y separan los estratovolcanes de la misma.

4. La génesis de ese sistema de fallamiento geológico se vincula a patrones de esfuerzos tectónicos regionales que afectan la Cordillera Volcánica Central cuya edad es del Cuaternario, particularmente durante los últimos 500.000 años.
5. Para el área de estudio el desarrollo de un Modelo Digital de Terreno a una escala 1:5.000 permitió definir el trazo de la Falla Zarcero con mayor precisión.
6. Como complemento a la información del Modelo Digital del Terreno, información geológica, geomorfológica e hidrogeológica aportó información complementaria para apoyar la interpretación de la falla geológica Zarcero, así como otra serie de alineamientos geológicos asociadas.
7. Para el área de estudio (Zarcero y alrededores) fue posible comprobar que la Falla Zarcero es segmentada por una serie de lineamientos estructurales, de manera que para el área de Zarcero el segmento de la Falla que lo afecta tiene una longitud de 2.5 Km.
8. El hecho de que la Falla Zarcero se presente segmentada y bifurcada, se interpreta como un elemento clave de disminuye su grado de amenaza, en la medida de que el movimiento a la largo de la falla se daría diferencialmente.
9. Los datos de paleosismicidad obtenidos por medio de dos trincheras (A y B), un extraordinario afloramiento de la falla en una de las paredes del Tajo localizado al noroeste de Zarcero y otros afloramientos permiten caracterizar neotectónicamente la Falla Zarcero.
10. Corresponde con una falla de desplazamiento de rumbo, de alto ángulo y con una posible componente inversa que tiene un rechazo vertical de 1 metro. Su desplazamiento horizontal es desconocido.
11. La Falla Zarcero, para el espacio geográfico analizado, no presenta evidencia reciente de ruptura en superficie. Esto en razón de que no se encontraron pruebas significativas que demostraran que la capa de cenizas volcánicas subrecientes que forman parte del subsuelo superior y suelo del área de estudio, estén afectadas por algún tipo de ruptura originada por la Falla Geológica Zarcero. La interpolación de información de dataciones de Carbono 14 realizaros para el ramal noreste de la Falla Zarcero, indican que dicho ramal tuvo su última actividad hace 2000 años.

12. De esta manera la Falla Zarcero se califica como una falla geológica activa (con actividad en Holoceno), pero que al menos para el segmento analizado en el área de estudio, no tiene manifestación directa y evidente de ruptura en superficie, razón por la cual y en cumplimiento de lo establecido en el Decreto Ejecutivo No. 32967 – MINAE, se procede a reducir la zona de seguridad a una franja de 10 metros a ambos lados de la traza de la falla precisada en este estudio, por medio de un Modelo Digital de Terreno realizado a escala 1:5.000.
13. La valoración de certidumbre de los datos técnicos procesados para la interpretación neotectónica de la falla derivan en una calificación de tipo Alto, por lo que se considera que existe suficiente certeza para las conclusiones técnicas aquí expresadas.

A partir de lo anteriormente expuesto, se derivan las siguientes recomendaciones técnicas **a la Municipalidad de Zarcero**:

1. Sustentado en el presente informe neotectónico de detalle y aplicable para el sector de Zarcero y alrededores, se debería proceder a reducir la zona de seguridad previamente establecida de 50 metros a ambos lados de la traza de la Falla, a 10 metros a ambos lados de la traza de la falla según los mapas generados en este estudio y los “shape” de los mismos.
2. Dentro de la zona de seguridad de 10 metros ni sobre la traza de la falla, en cumplimiento a lo señalado por el Decreto Ejecutivo No. 32967 – MINAE, podrán permitirse el desarrollo de “Obras de ocupación humana”, es decir, que impliquen la permanencia o residencia de seres humanos. No obstante, dentro de esta zona de seguridad si es posible el desarrollo de otro tipo de obras, tales como: áreas verdes, caminos, senderos, parques, bodegas, jardines, zonas de recreación al aire libre, edificaciones que no impliquen residencia de personas y estacionamientos,
3. La infraestructura estratégica definida por el Decreto Ejecutivo No. 32967 – MINAE, no deberán permitirse dentro de la zona seguridad señalada y una zona adicional de 40 metros a ambos lados de la traza de la falla. En todo caso, obras de este tipo que se localicen a menos de 200 metros de la traza de la Falla deberán ser objeto de un análisis neotectónico local y un estudio sismológico que concluya sobre la viabilidad técnica de la obras a desarrollar según dichos temas.

4. Respecto a las edificaciones que ya se encuentran construidas dentro de la zona de seguridad de 10 metros y sobre la traza de la falla, deberá procederse de la siguiente manera:
 - a. Realizar un inventario de las mismas dentro del cantón de Zarcero, identificando el nombre de las familias o personas residentes.
 - b. Proceder a informar a las personas y familias que se encuentren en esa categoría sobre el hecho de que se encuentran en una zona de seguridad de falla geológica activa y que por tanto, deberán tomar medidas extras de seguridad en caso de actividad sísmica en la zona.
 - c. Como parte de las medidas extras de seguridad deberán contemplarse acciones concretas tales como:
 - i. Reforzamiento estructural de la obra.
 - ii. Identificación y señalización de las zonas de seguridad.
 - iii. Desarrollo de plan de emergencias, con un sistema de evacuación hacia las zonas de seguridad identificadas.
 - iv. Desarrollo de simulacros periódicos.
5. Respecto a los alrededores inmediatos del trazo de la falla y la zona de seguridad establecida, se deberá proceder a realizar un estudio técnico de estabilidad de ladera, de manera que genere una zonificación de amenaza a deslizamientos y procesos erosivos que se tome en cuenta al momento de tramitar usos del suelo a fin de que se consideren esos factores de riesgo al momento de diseñar nuevos proyectos o de establecer medidas de seguridad para actividades ya existentes.
6. Finalmente, en razón de que el afloramiento de la pared del tajo donde se presenta el afloramiento de la Falla Geológica Activa Zarcero, representa un sitio de gran valor geocientífico y tiene un gran potencial didáctico, se recomienda que se coordine con el propietario del terreno a fin de que el mismo no sea destruido como producto de la extracción minera que se realiza en el Tajo y que más bien sea conservado y mantenido por la Municipalidad de Zarcero como un geositio de valor cultural y científico.

Índice

Responsabilidad profesional.....	1
Resumen Ejecutivo.....	2
Índice.....	6
1. Introducción.....	8
1.1 PRESENTACIÓN.....	8
1.2 OBJETIVO DEL ESTUDIO.....	8
1.3 ÁREA DE ESTUDIO.....	9
1.5 METODOLOGÍA.....	12
1.6 ORGANIZACIÓN DEL DOCUMENTO.....	13
2. Marco conceptual sobre la zonificación del uso del suelo en las cercanías de fallas geológicas activas.....	14
2.1 INTRODUCCIÓN.....	14
2.2 DEFINICIONES BÁSICAS.....	16
2.3 EL PROCEDIMIENTO.....	18
2.4 ALCANCE Y APLICACIÓN.....	20
2.5 IMPORTANCIA DE SU USO.....	22
2.6 DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	23
3. Marco geológico y geotectónico regional.....	24
3.1 TECTÓNICA REGIONAL.....	24
3.2 GEOLOGÍA REGIONAL.....	27
3.3 GEOMORFOLOGÍA REGIONAL.....	29
4. Geología, geomorfología e hidrogeología del área de estudio.....	33
4.1 INTRODUCCIÓN.....	33
4.2 GEOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	34
4.3 GEOMORFOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	36
4.4 DATOS HIDROGEOLÓGICOS DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	39
5. Caracterización neotectónica de la Falla Zarcero.....	42
5.1 ANTECEDENTES DE LA FALLA ZARCERO.....	42
5.2 RESTRICCIONES AL USO DEL SUELO PARA LA FALLA ZARCERO.....	47
5.3 MODELO DIGITAL DEL TERRENO Y TRAZA DE LA FALLA ZARCERO.....	48

5.4 FOTINTERPRETACIÓN	53
5.5 DATOS DE LITOLÓGÍA DE POZOS	55
5.6 DATOS DEL REGISTRO DE SISMICIDAD INSTRUMENTAL	56
5.7 ANÁLISIS DE PALEOSISMICIDAD (TRINCHERAS Y AFLORAMIENTOS)	60
5.8 CARACTERIZACIÓN NEOTECTÓNICA DE LA FALLA ZARCERO.....	84
6. Conclusiones y recomendaciones (alcances sobre el uso del suelo)	89
8.1 CONCLUSIONES	89
8.2 RECOMENDACIONES (ALCANCE SOBRE EL USO DEL SUELO)	91
7. Referencias	94

1. Introducción

1.1 PRESENTACIÓN

Se presenta aquí el Informe de Final, el cual sintetiza un estudio técnico en el campo de la consultoría en geología y ordenamiento territorial con énfasis en el análisis neotectónico y zonificación de uso del suelo para una falla geológica, designado como: “*Estudio Neo tectónico de la Falla Zarcero para la Ciudad de Zarcero y alrededores*”.

El trabajo se ajusta a los términos de referencia aportados por la CNE en la Licitación Abreviada No. 2013 LA – 000015 – 00200.

1.2 OBJETIVO DEL ESTUDIO

El estudio tiene como objetivo primordial la estricta precisión, de acuerdo a la información disponible y alcances del trabajo de campo de la traza de falla, además la aplicación del Protocolo técnico para fallas geológicas establecido en el decreto ejecutivo No 32967-MINAE, para el área de estudio comprendida por la Ciudad de Zarcero y sus alrededores, a fin de integrar la información técnica previamente elaborada y complementarla con nueva información obtenida por proceso de la información digital, investigación de campo (geología, geomorfología), paleo sismicidad (desarrollo de al menos tres trincheras), fotointerpretación y datos hidrogeológicos disponibles a fin de identificar o confirmar con mayor precisión la traza de la falla, el ancho de la zona de ruptura, la zona de seguridad a aplicar y las restricciones de uso del suelo que aplicarían dentro de la zona de seguridad, según los resultados obtenidos por el estudio, los cuales se integraran como un protocolo específico que se entregará a la Municipalidad para su aplicación al momento de tramitar usos del suelo dentro del espacio territorial afectado por la falla geológica.

1.3 ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio corresponde con un terreno de aproximadamente 4.5 Km², en cuya parte central pasa la traza de la falla Zarcero, según información técnica previa (ver Figura 1.1).

Esta área de estudio inicial (ver marco rojo en la Figura 1) se circunscribe dentro de un área de estudio mayor, que fue objeto de análisis geológico – neotectónico a fin de generar mayor complemento técnico al área de estudio inicial indicada en la Figura 1. Por ejemplo, el Modelo Digital de Terreno (MDT) que se elaboró como parte del estudio considera esa área de estudio de mayor superficie.

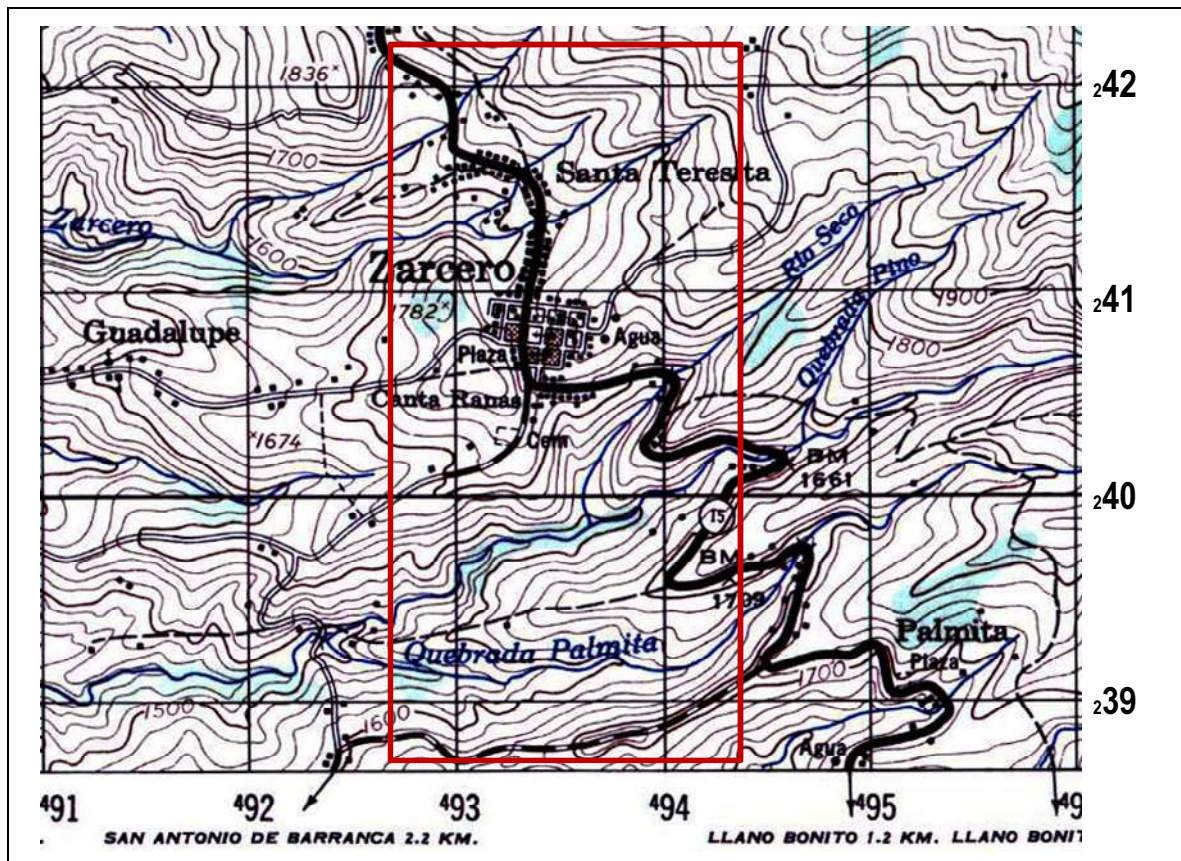


Fig. 1.1. Área donde se realiza el estudio (marco rojo) según las condiciones técnicas establecidas por la CNE. Esa área representa el territorio mínimo del estudio a realizar, el cual se podrá ajustar, para algunos temas y análisis, según los avances de la investigación. Forma parte de la hoja cartográfica Quesada (escala 1:50.000) del Instituto Geográfico Nacional de Costa Rica.

1.4 LINEAMIENTOS BÁSICOS DEL ESTUDIO

Los requisitos técnicos del estudio, según los términos de referencia de la CNE son:

1. **Integración y procesado de la información técnica disponible** para la falla geológica Zarcero, a fin de obtener un contexto regional de la misma.
2. **Complementación de la información obtenida en el punto 1, con nuevos datos geológicos, geomorfológicos y estructurales del área de estudio** y sus alrededores a fin de dar el marco local de la falla geológica presente en el terreno según información previa.
3. **Establecimiento de una base cartográfica digital a escala según la información de ortofotos y de datos cartográficos** en poder de la Municipalidad de Zarcero y aportados por el Programa de Regularización y Catastro.
4. **Análisis de fotointerpretación y de modelo digital del terreno**, con datos de sismicidad reciente, para localización precisa de la traza de la falla sobre el terreno, en consideración de la información procesada según los puntos previos.
5. **Estudio de campo para aumentar el detalle de la información geológica, geomorfológica y neotectónica del área de estudio y alrededores**. Incluyendo como parte del mismo, un análisis de la información hidrogeológica disponible para el área de estudio y alrededores.
6. **Localización y ejecución, según la información procesada de al menos tres trincheras** para la realización de estudios de paleosismicidad a lo largo de la traza de la falla en las cercanías de la ciudad de Zarcero.
7. **Revisión geológica y neotectónica de los cortes de las trincheras** a elaborar en conjunto con la Municipalidad en la localización que se

precisará directamente en el campo en un sitio que reúna las condiciones mínimas para su desarrollo. Incluir en los datos, al menos 3 dataciones de radiocarbono para cada una de las trincheras que presenten resultados de capas u horizontes de suelo con movimientos recientes.

8. **Procesado de información y llenado de la ficha técnica de la falla geológica, integrando información previa neotectónica**, elaborada previamente y según los resultados del presente estudio. Desarrollo de la matriz de certidumbre y su calificación, acompañada de una discusión que analice y fundamente la misma.
9. **Establecimiento de la cartografía de la falla en el área de estudio y su respectiva zona de seguridad**, complementada con un mapa de uso actual del suelo.
10. **Sugerir restricciones de uso del suelo, según la zona o subzonas de seguridad establecidas**, con indicación de restricciones, limitaciones y condicionantes técnicas para usos del suelo nuevo y para los ya existentes. En todos los casos se hará diferenciación entre el tema de infraestructura estratégica y no estratégica.
11. **Elaboración de informe técnico a modo de dictamen bajo la Cláusula de Responsabilidad Ambiental** que establece el Decreto Ejecutivo No. 32967 - MINAE.
12. Preparación, como anexo al Informe Técnico, a modo de recomendación para la Municipalidad de Zarcero, de un **protocolo técnico específico a aplicar al momento de tramitar usos del suelo en las cercanías de la falla geológica Zarcero**, según el resultado del presente estudio.
13. **Presentar y discutir en el seno del CAT VULCANOLOGIA SISMOLOGIA**, para su aprobación los resultados obtenidos de esta investigación.

1.5 METODOLOGÍA

En cumplimiento de los lineamientos técnicos de los términos de referencia planteados por la CNE en el cartel, se aplicó una metodología estándar que cubrió los siguientes pasos:

1. **Análisis geológico**, cubriendo información previa existente (procesado e integración), fotointerpretación de imágenes disponibles y trabajo de campo sistemático.
2. **Análisis geomorfológico**, con un procedimiento similar al del tema geológico.
3. **Análisis de geología estructural y neotectónico** (para identificación de estructuras geológicas, principalmente fallamiento geológico activo y potencialmente activo).
4. **Mapa de uso actual del suelo**, según tipos de uso e inventario social de las estructuras localizadas en el área de estudio, con particular énfasis al área de la traza de falla y su zona de influencia.

Como marco de referencia metodológico se emplea, en lo que aplique, el procedimiento técnico estandarizado mediante el Decreto Ejecutivo No. 32967 – MINAE, sobre la *“Introducción de la variable ambiental en los planes reguladores y cualquier otro tipo de planificación de uso del suelo”* con particular énfasis en el Protocolo sobre Fallas Geológicas que se presente como Anexo a dicho Decreto Ejecutivo.

Esto con el propósito de que, además de cumplir con los términos de referencia de la CNE, se genere un producto útil para la Municipalidad de Zarcero con el fin de que lo utilicen en su plan regulador o en su defecto en cualquier tipo de normativa u ordenanza municipal que defina como parte de sus potestades legales.

1.6 ORGANIZACIÓN DEL DOCUMENTO

A parte del presente capítulo introductorio, este documento incluye una serie de capítulos que desarrollan el tema objeto del estudio.

El Capítulo 2 desarrolla el marco conceptual sobre la aplicación del Protocolo para la Zonificación de usos del suelo en las cercanías de Fallas Geológicas activas. Esto, con la intención de explicar al lector, los criterios básicos que norman el procedimiento establecido en el Decreto Ejecutivo No. 32967 – MINAE. De igual manera, se presenta y explica la terminología básica que norma los estudios neotectónicos.

El Capítulo 3 presenta el contexto geotectónico y geológico regional del área de estudio, así como los antecedentes geológicos y tectónicos de la denominada Falla Zarcero.

El Capítulo 4 presenta la información geológica, geomorfológica e hidrogeológica del área de estudio, así como los resultados de fotointerpretación y elaboración de Modelo Digital del Terreno que llevó a la delimitación más precisa de la traza de la Falla Zarcero.

El Capítulo 5 resume los resultados principales del estudio Neotectónico, con el trabajo realizado para las trincheras y datos de afloramientos, así como otra información técnica complementaria, como datos de sismicidad registrada; a partir de lo cual se realiza la caracterización de la falla geológica con su respectivo análisis de certidumbre y salvaguardas.

El Capítulo 6, presenta las conclusiones y recomendaciones principales del estudio, incluyendo la Ficha Técnica de la Falla, y las conclusiones sobre las restricciones que deben aplicar al uso del suelo, así como las recomendaciones a la Municipalidad de Zarcero, referente a este tema.

Finalmente, en el Capítulo 7, se enlistan las principales referencias bibliográficas utilizadas como base técnica de este estudio y otra información de interés para el lector.

2. Marco conceptual sobre la zonificación del uso del suelo en las cercanías de fallas geológicas activas

Nota: ver también Astorga (2013).

2.1 INTRODUCCIÓN

Para casi todos es conocido que Costa Rica es un país geológicamente activo. Como tal, está atravesado por una significativa cantidad de fallas geológicas (ver Figura 2.1).

La observación del Atlas Tectónico de Costa Rica (Denyer et al., 2003), elaborado a una escala regional (1:200.000), deja ver esa realidad. A menor escala, es muy probable que la cantidad de fallas geológicas sea mucho mayor.

Algunas de las fallas geológicas que tienen expresión en superficie, pueden ser fallas activas o potencialmente activas. De esta forma, si la actividad de la falla se da en la cercanía de la superficie del suelo, la falla puede producir una ruptura en la superficie, dañando las obras de infraestructura que puedan disponerse sobre la traza o la zona de ruptura.

En razón de lo anterior, la identificación y determinación de una falla geológica activa o potencialmente activa, tiene efectos directos en la definición de usos del suelo, en particular para actividades urbanas, de conformidad con la Ley de Planificación Urbana (Ley 4220).

Según esta ley, la zona de riesgo de ruptura en superficie por falla geológica, califica como una Zona Especial, por lo que se deben establecer restricciones o dado el caso, prohibiciones del uso del suelo para el desarrollo de obras constructivas. Lo cual se ajusta muy bien con el concepto preventivo de la gestión del riesgo que establece la Ley Nacional de Emergencias (Ley 8488).

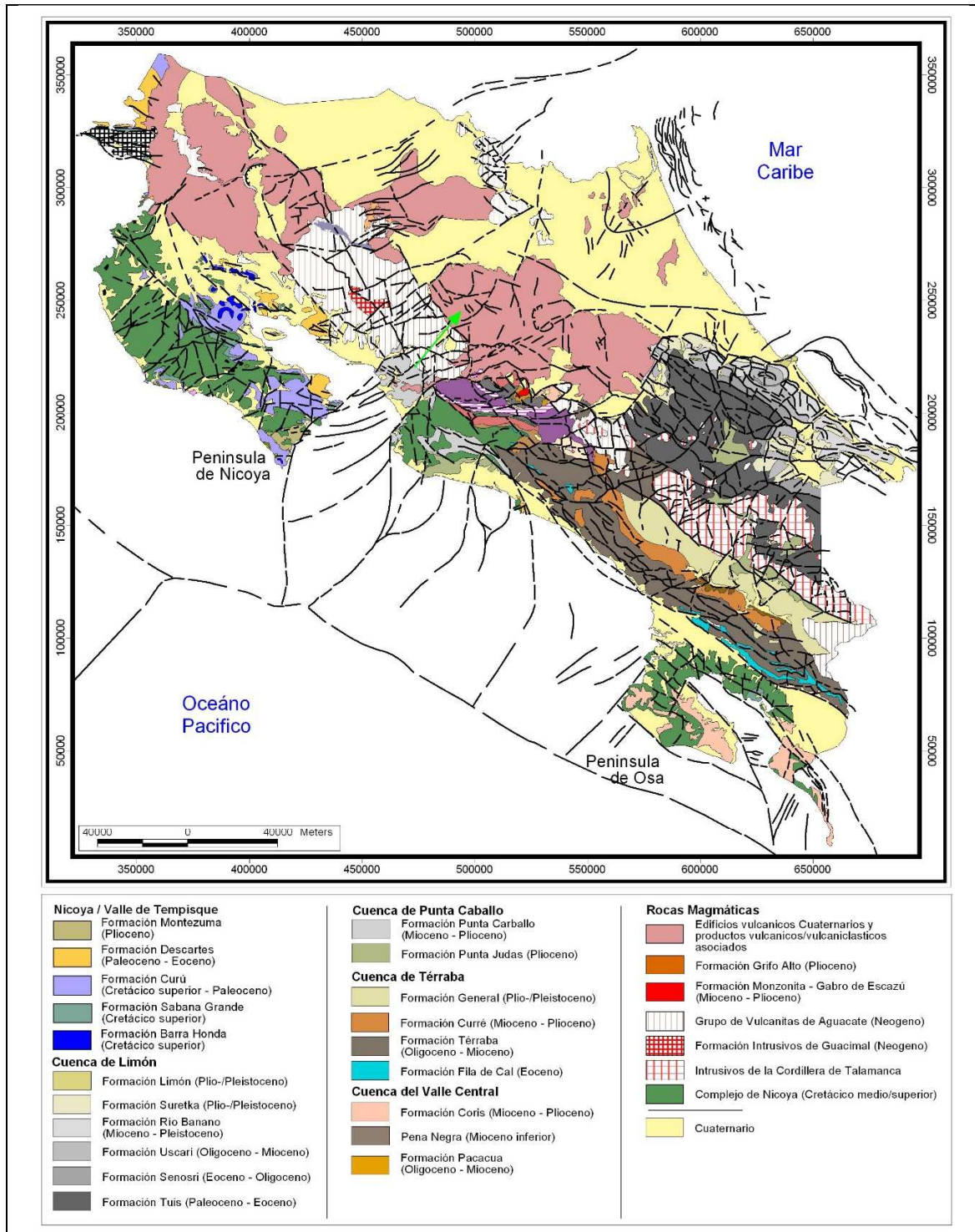


Fig. 2.1. Mapa geológico de Costa Rica (MINAE, 1995) que muestra algunas de las fallas geológicas regionales identificadas por diversos estudios geológicos.

En razón de que, desde el año 2002 (Resolución No. 2002 – 01220), la Sala Constitucional ordenó que los planes reguladores (de uso del suelo) tienen que realizar un “examen de la evaluación de impacto ambiental”, el Poder Ejecutivo, por medio del Reglamento General de Procedimientos de Evaluación de Impacto Ambiental -EIA- (Decreto Ejecutivo Número 31849-MINAE-SALUD-MOPT-MAG-MEIC) formalizó en el año 2004 ese requisito para los planes reguladores y cualquier tipo de ordenamiento territorial.

En el año 2006, mediante el Decreto Ejecutivo No. 32967 – MINAE, se formaliza el procedimiento de introducción de la variable ambiental en los planes reguladores y cualquier otro tipo de ordenamiento territorial y como parte del mismo, estableció el Protocolo de “Zonificación y restricciones al uso del suelo sobre o en el ámbito territorial inmediato a Fallas Geológicas Activas”.

Ese protocolo fue elaborado por una Comisión Técnica con la participación de diversas entidades, como la Cámara de Construcción, la CNE, la UCR, el Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos, el INVU, el IFAM y la SETENA, entre otros.

El Protocolo representa una adaptación para Costa Rica del protocolo vigente en el estado de California, USA, desde hace varias décadas (DMG, 1999 y 2004; ver Figura 2.2).

En el presente documento se hace una síntesis informativa sobre el Protocolo, su metodología básica y sobre su alcance y aplicación práctica para nuestro país.

2.2 DEFINICIONES BÁSICAS

Las definiciones principales que incluye el Protocolo, son:

Falla: Se define como una fractura o una zona de fracturas cercanamente espaciadas a lo largo de las cuales las rocas de un lado han sido sometidas a un desplazamiento respecto de las rocas del otro lado.

Falla Potencialmente Activa: Fallas que muestran evidencias de desplazamiento superficial durante el Cuaternario (últimos 1.6 millones de años), también denominada como Falla Neotectónica.

Falla activa: Falla (geológica) que ha tenido desplazamientos superficiales durante el Holoceno (últimos 11.000 años) y que tiene potencial de desplazamientos futuros a lo largo de uno o más de sus segmentos, constituyendo una amenaza potencial a estructuras localizadas sobre su traza. Los desplazamientos pueden ser observados directamente o inferidos a lo largo de la traza de falla o en parte de ella.

Falla de trazo definido: Una falla es considerada como de trazo definido si su traza es claramente detectable por un geólogo entrenado como un rasgo físico en o ligeramente bajo el suelo. Puede ser identificada por observación directa o métodos indirectos. La consideración crítica es que la falla o parte de ella pueda ser localizada con suficiente precisión y seguridad para indicar que para que las investigaciones necesarias de sitios específicos pueden ser exitosas.

Traza de falla: Es la línea formada por la intersección de la falla (geológica) y la superficie de la tierra, y es la representación de una falla sobre un mapa, incluyendo mapas de zonas de fallas sísmicas. La traza de la falla puede ser simple o compuesta.

Zona de Falla: Una zona de falla es una zona de fallas relacionadas comúnmente están entrelazadas y subparalelas, pero pueden ramificarse y ser divergentes. Una zona de falla tiene una anchura significativa (con respecto a la escala de la falla que está siendo considerada o investigada) desde pocos pies hasta varias millas.

Zonas de fallas sísmicas: Son áreas delimitadas por el geólogo, las cuales abarcan las trazas de más de una de las falla activa.

Estructura de ocupación humana: Es cualquier estructura o infraestructura usada o con el propósito de albergar o proteger cualquier uso u ocupación, de la cual se espera que se sirvan o dependan directamente de ella una ocupación humana mayor de 2000 personas-hora por año.

Infraestructura estratégica: son aquellas obras que por su envergadura, costo de inversión, uso e importancia resulta de gran valor estratégico para el desarrollo de las actividades humanas y su calidad de vida tales como puentes, pistas de aterrizaje, puertos, túneles, represas, y rellenos sanitarios.



Fig. 2.2. Mapa de fallas geológicas activas (trazas rojas) identificadas en el Estado de California con el uso del Protocolo "Alquist - Priolo" (cf. Bryant & Hart, 2007).

2.3 EL PROCEDIMIENTO

De previo a la explicación del procedimiento, se hace necesario señalar que el mismo se desarrolla, sobre la base de que en el país no se cuenta todavía con cartografía geológica oficial de detalle (escalas igual o menores de 1:25.000), por lo

que la forma de resolverlo es que se haga como parte de los estudios ambientales que solicita la legislación.

Tanto en lo referente al análisis de un espacio geográfico para una evaluación de impacto ambiental de un proyecto, como para un plan regulador, la legislación vigente señala que se requiere hacer un reconocimiento de la condición de Geopotencial de terreno (ver Astorga & Campos, 2001).

Como parte de ese concepto, se establece que se haga una caracterización, a escala detallada (igual o menor de 1:10.000) de la geología, la geomorfología, las condiciones hidrogeológicas (considerando datos de pozos y extrapolación de información geológica), la estabilidad de ladera y vulnerabilidad a diversos tipos de amenazas naturales.

Como parte de las amenazas naturales, entre otros factores, se incluye el potencial de fractura en superficie por falla geológica.

Esto quiere decir que un geólogo, cuando realiza el estudio de Geopotencial de un espacio geográfico dado, para el cual ha identificado la existencia de una falla geológica, debe señalar si la misma es inactiva, potencialmente activa o bien activa. Ello a fin de indicar si se requiere o no el establecimiento de una “zona de seguridad” y la realización de un estudio geológico – neotectónico de la falla que permita precisar el tema de la zona de seguridad o de restricción uso del suelo.

El procedimiento señala que el geólogo responsable, basado en la información previa disponible, los datos de fotointerpretación, del modelo digital del terreno (de ser posible) y los datos de campo, debe señalar con un grado de certidumbre satisfactorio si la falla califica como inactiva o no.

En caso de que no califique como tal, deberá calificar la falla como “potencialmente activa” y establecer una zona de seguridad preliminar de 50 metros de ancho a ambos lados de la traza de la falla o de la zona de falla.

Esa zona de seguridad se registrará en el mapa y califica como una Zona Especial, con restricciones técnicas al uso del suelo, hasta tanto un estudio geológico – neotectónico de mayor detalle derive conclusiones más precisas.

El estudio geológico – neotectónico debe ser realizado por un geólogo calificado. Además de la información geológica y geomorfológica previa, debe realizar mayor detalle de campo, incorporación de datos del registro sísmico, así como datos de trincheras abiertas en el terreno, paleosismología, apoyo en dataciones radiométricas cuando sea posible y en métodos geofísicos.

Como producto del análisis, debe llenarse una Ficha Técnica, cuyo formato se presenta como Apéndice 1 del Protocolo, con la respectiva calificación de certidumbre de la información generada.

El principal objetivo del estudio geológico – neotectónico es determinar si la falla geológica es activa y si tiene potencial de ruptura en superficie.

Como producto del estudio geológico – neotectónico el geólogo y siempre que se tenga el criterio técnico, puede reducir la zona de seguridad de 50 a 15 metros, e incluso a 10 metros, cuando compruebe que no hay ramificaciones a partir de la traza de la falla (ver Figura 2.3).

Es importante aclarar que en el caso de zonas de falla anchas, el ancho de la zona de seguridad puede ser de hasta 100 metros, además del ancho de la zona de falla misma.

2.4 ALCANCE Y APLICACIÓN

El Criterio Específico (a) del Protocolo señala que ninguna estructura de Ocupación Humana será permitida sobre la traza de una falla geológica activa o de su zona de seguridad, definida por un estudio geológico – neotectónico, o bien de forma preliminar para la zona de seguridad de 50 metros si no se tiene el estudio geológico – neotectónico.

Por su parte, el Criterio Específico (b) del Protocolo indica que en el caso de infraestructura estratégica (como hospitales, centros comerciales, edificaciones mayores, etc.) se aplicará la alternativa de diseño que evite pasar por la traza de la falla y su zona de seguridad establecida por el estudio geológico – neotectónico.

El Criterio indicado, señala además de que en el caso extremo de “que fuese materialmente imposible evitar que la obra de infraestructura no pueda cumplir lo anterior, se procederá a establecer un parámetro de diseño y construcción más estricto”. Esto con el fin de minimizar los eventuales daños y además, se señala que deberá contarse con un plan de mitigación de desastre.

El Protocolo señala que el estudio geológico - neotectónico "solo tendrá aplicación para el área de estudio en que se circunscribe". De manera que su extrapolación a otras áreas, debe complementarse con información técnica de dicha zona.

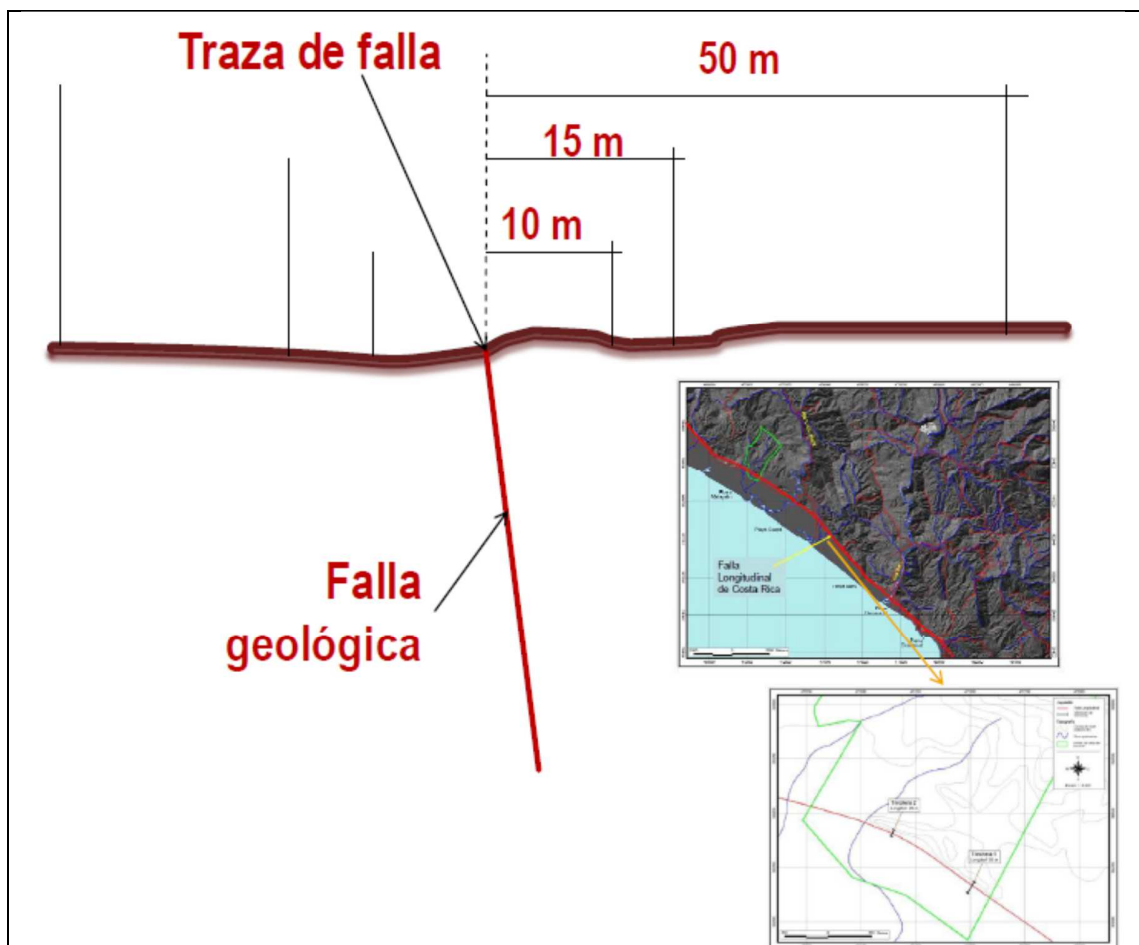


Fig. 2.3. Esquema ilustrativo de una falla geológica y su traza, y las zonas de seguridad establecidas según criterios del estudio geológico – neotectónico.

Señala también en el caso de que otro geólogo realice un estudio en un área adyacente o complemente uno previo, y en caso de que sus resultados difieran del primer estudio y adyacente, "deberá presentar sus argumentaciones por medio de una discusión técnica en el informe y pondrá peso a sus resultados en consideración de la calificación de certidumbre que considera tienen dichos resultados".

Finalmente, se indica que en caso de que exista información disímil, podrá sujetarse el resultado de ambas investigaciones a un arbitraje por medio de un experto debidamente acreditado por la CNE.

2.5 IMPORTANCIA DE SU USO

Como se indicó previamente, la identificación de una falla geológica, y la determinación de si es inactiva, potencialmente activa o activa, así como su zona de seguridad tiene la finalidad de realizar gestión preventiva del riesgo y evitar que se produzcan daños a la infraestructura humana, y con ella a las personas.

El Protocolo aplica solamente para obras de infraestructura nuevas y para planificación territorial. No tiene carácter retroactivo, excepto que los propietarios de los terrenos o edificaciones así lo deseen.

El Protocolo señala que todo comprador de un terreno tiene derecho a conocer si el mismo es atravesado o no por una falla geológica activa o potencialmente activa.

Además, en el caso de que un terreno en cuestión haya sido objeto de un estudio geológico local que aporte datos sobre la naturaleza geológica del terreno y que sean de conocimiento o propiedad del vendedor, éste podrá aportarlos al comprador como parte de la negociación.

En el caso de que ya existan obras de infraestructura (ocupación humana), dentro de un área de seguridad o de traza de falla identificada por medio de un estudio técnico que ha hecho uso del Protocolo, se aplicarán los siguientes lineamientos:

- a. La autoridad municipal informará a los propietarios de esos bienes inmuebles sobre la situación;
- b. Indicará a los mismos que deberán establecer medidas técnicas de reforzamiento estructural y de prevención, siempre que sea posible.
- c. Los propietarios u ocupantes de las edificaciones dispondrán de un plan de emergencia en caso de sismos elaborado por un profesional especialista en la materia, que implique la evacuación de las estructuras más vulnerables.
- d. Se promoverá que a futuro no se den ampliaciones que impliquen la llegada de nuevos habitantes a las estructuras y se promoverá un gradual proceso de desintivación al proceso de ocupación de los terrenos específicos vinculados con el área de seguridad establecida.

Por último, el Protocolo señala que los estudios geológicos adquieren oficialidad con la presentación y registro del mismo en la CNE.

Ello, en aplicación de los principios de prevención del riesgo natural, de responsabilidad técnica, social y ambiental, de certificación y acreditación y de ética y responsabilidad profesional incluidos en el Protocolo.

2.6 DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La posibilidad que ha tenido el autor de conocer numerosos informes geológicos presentados por profesionales en geología, consultores ambientales como parte del trámite de EIA, deja ver que no se está aplicando de forma sistemática y apropiada el Protocolo de Fallas Geológicas aquí descrito.

Esto requiere ser corregido y mejorado a fin de que dichos profesionales tengan claro conocimiento de la responsabilidad profesional que asumen al momento de firmar un documento técnico que forma parte de un expediente ambiental ante el Estado.

Al respecto, se considera relevante la mayor divulgación posible del Protocolo, razón de ser de este documento, así como de un programa de capacitación o refrescamiento a geólogos consultores ambientales registrados ante la SETENA.

3. Marco geológico y geotectónico regional

3.1 TECTÓNICA REGIONAL

Costa Rica se ubica en el margen occidental de la Placa Caribe, formando parte de la provincia tectónica denominada "Orógeno de Sur de América Central" que a su vez, forma parte de la Placa Caribe (ver Figura 3.1).

El Orógeno del Sur de América Central, cubre el Istmo de Costa Rica y Panamá y consiste en un arco magmático insular interoceánico originado durante el período Cretáceo Medio/Superior (Dengo, 1985; Astorga, 1997).

En este margen convergente, las placas oceánicas de Cocos y Nazca están subducidas debajo de la placa Caribe con velocidades de 5 - 9 cm/año (DeMets et al, 1990).

Es importante resaltar el hecho de que la parte norte del Orógeno, donde precisamente se localiza Costa Rica, es un sitio de alta actividad tectónica.

Como puede verse en el mapa tectónico global de la Figura 3.1 y el regional de la Figura 3.2, debido al movimiento diferencial de placas y bloques tectónicos en esta región del planeta, Costa Rica presenta en el sector del Pacífico una zona de subducción (Fosa Mesoamericana) donde se subduce la Placa de Cocos bajo la Placa Caribe.

Se presenta la particularidad de que en la parte sur de la fosa, frente a las costas de Pacífico Central y parcialmente del Sur de Costa Rica, se subduce la Dorsal Asísmica de Cocos, desde hace varios millones de años, lo cual tiene serias repercusiones en la tectónica y neotectónica del istmo de Costa Rica.

Por su parte, en el sector del Caribe, el Istmo de Costa Rica, también muestra actividad tectónica importante, ya que desde la parte central, desde el Promontorio de Limón, hacia el sur, se presenta un Cinturón Deformado (del Norte del Panamá) que se extiende hacia ese país y que representa una zona de fuerte compresión tectónica intraplaca, simulando una Subducción tipo A, es decir, sin que se dé el hundimiento de una placa bajo la otra, sino solamente el acortamiento cortical, manifestado por medio de una serie de fallas inversas de tipo sobrecorrimiento y microcuencas tectónicas (Astorga, 2013 en preparación).

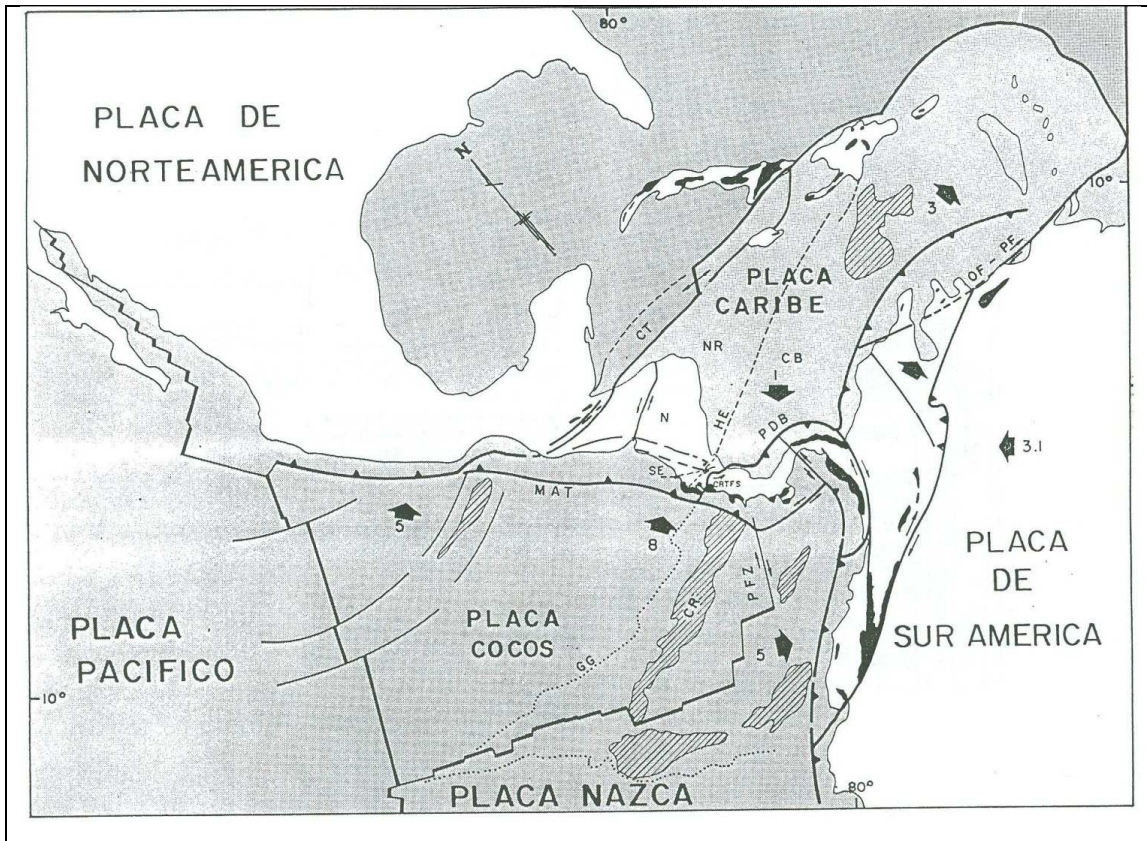


Fig. 3.1. Localización geotectónica regional de Costa Rica, como parte suroeste de la Placa Caribe. Como puede observarse, Costa Rica, se presenta en una zona afectada por una importante compresión tectónica. Tomado de Astorga (1997).

La parte norte del Caribe de Costa Rica, no presenta deformación tectónica (ver Astorga et al., 1989, 1991, 1995, y Brandes et al., 2008), simulando así un contexto tectónico de un margen continental pasivo.

Esto en razón de que el Cinturón Deformado del Norte de Panamá, en la latitud de 10° Norte, se adentra hacia el continente transformándose en un sistema de falla transistmica designado por Astorga et al. (1989) como Sistema de Falla Transcurrente de Costa Rica (ver figuras 3.1 y 3.2).

Este sistema de falla transistmica separa el istmo de Costa Rica en dos bloques tectónicos con particulares diferencias geológicas y tectónicas.

El Bloque Costa Rica Norte, muestra un relieve menos pronunciado representado por las cordilleras volcánicas de Guanacaste y Central, donde se registran importantes estratovolcanes activos y otras estructuras volcánicas no activas. El resto del territorio son llanuras caracterizadas por relieves planos. Esta zona, donde se localiza el área de estudio presenta importantes fallas geológicas.

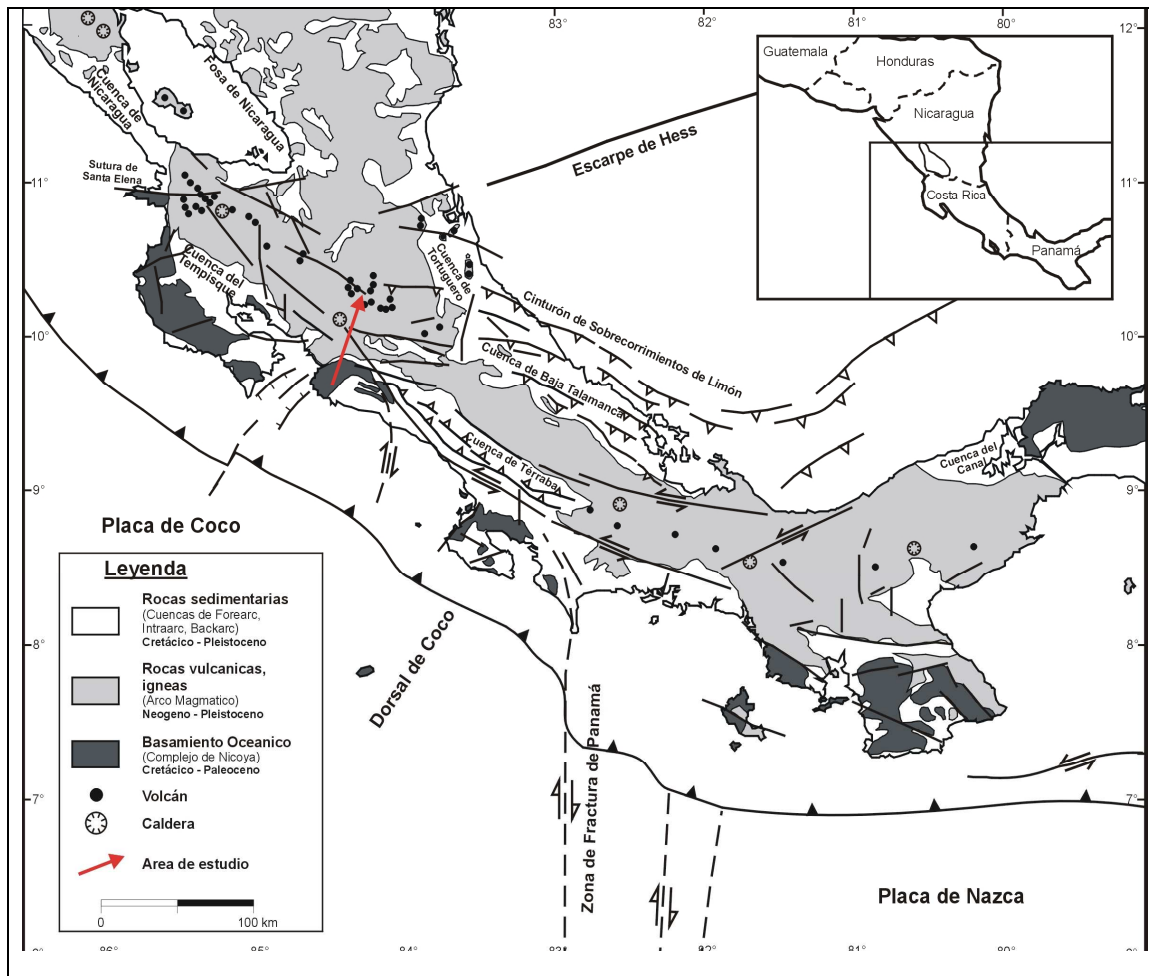


Fig. 2.2. Mapa tectónico de parte del Orógeno del Sur de América Central, con indicación de los principales elementos tectónicos y neotectónicos relacionados con el área de estudio (rectángulo rojo). Como puede observarse el área de estudio se presenta en una región de "tras arco" con una condición geotectónica algo más tranquila respecto a otras áreas del país.

El Bloque Costa Rica Sur, muestra por el contrario un relieve muy conspicuo en casi la totalidad de su territorio. Las zonas montañosas, presentan alturas de hasta 3.800 msnm, y son de origen tectónico y neotectónico, sin que se presente volcanismo activo. Las zonas de llanura, son también de origen tectónico, siendo de limitada extensión a diferencia de las del Bloque Costa Rica Norte.

No se exhibe un límite neto entre ambos bloques tectónicos, sino una zona de umbral que tiene un ancho que varía de kilómetros a decenas de kilómetros.

El Valle Central forma parte de este umbral técnico entre ambos bloques.

Astorga et al. (1991) la define como una cuenca de segunda generación originada en el Terciario Medio como producto del desarrollo y actividad de la falla transístmica.

Además del Valle Central, hacia el Pacífico se presentan otras cuencas de segunda generación que forman parte de esta zona de umbral tectónico, como son la Cuenca de Tárcoles y la Cuenca de Parrita, separadas ambas por el denominado Promontorio de Herradura (ver Figura 3.2).

Como se ha señalado, el área de estudio objeto del presente trabajo, se localiza en el flanco meridional de la Cordillera Volcánica, particularmente en la ladera suroeste del estratovolcán Platanar. Dentro de este contexto, se presenta la estructura tectónica denominada la Falla Zarcero.

3.2 GEOLOGÍA REGIONAL

En la Figura 2.3 se muestra la localización del área de estudio en el mapa geológico de Costa Rica (cf. MINAE, 1995).

Como puede observarse, desde el punto de vista geológico, el área de estudio se ubica en el arco volcánico dentro del denominado Bloque Costa Rica Norte (Astorga et al., 1991).

El arco volcánico corresponde con una unidad geológica de origen volcánico. La Cordillera Volcánica Central en la que se localiza el área de estudio, está formada por múltiples conos volcánicos, constituidos por rocas Piroclásticas (cenizas, bombas, brechas, etc.), lavas, depósitos laháricos y fluvio – lacustres locales (Alvarado, 2000).

Particularmente, el área de estudio tiene una relación directa con el macizo volcánico Chocosuela - Platanar (Alvarado et al, 1988; Alvarado & Carr, 1993; Alvarado & Gans, 2012).

De acuerdo con Alvarado (2000), los volcanes Platanar y Porvenir tienen una edad aproximada de 400.000 años, mientras que las rocas volcánicas más antiguas registradas en el macizo, pueden ser del Mioceno (Alvarado & Gans, 2012).

Como se mencionó en la sección previa, desde el punto de vista estructural, el área de estudio representa una zona de deformación tectónica directamente vinculada al desarrollo de la Cordillera Volcánica Central (Denyer et al., 2003).

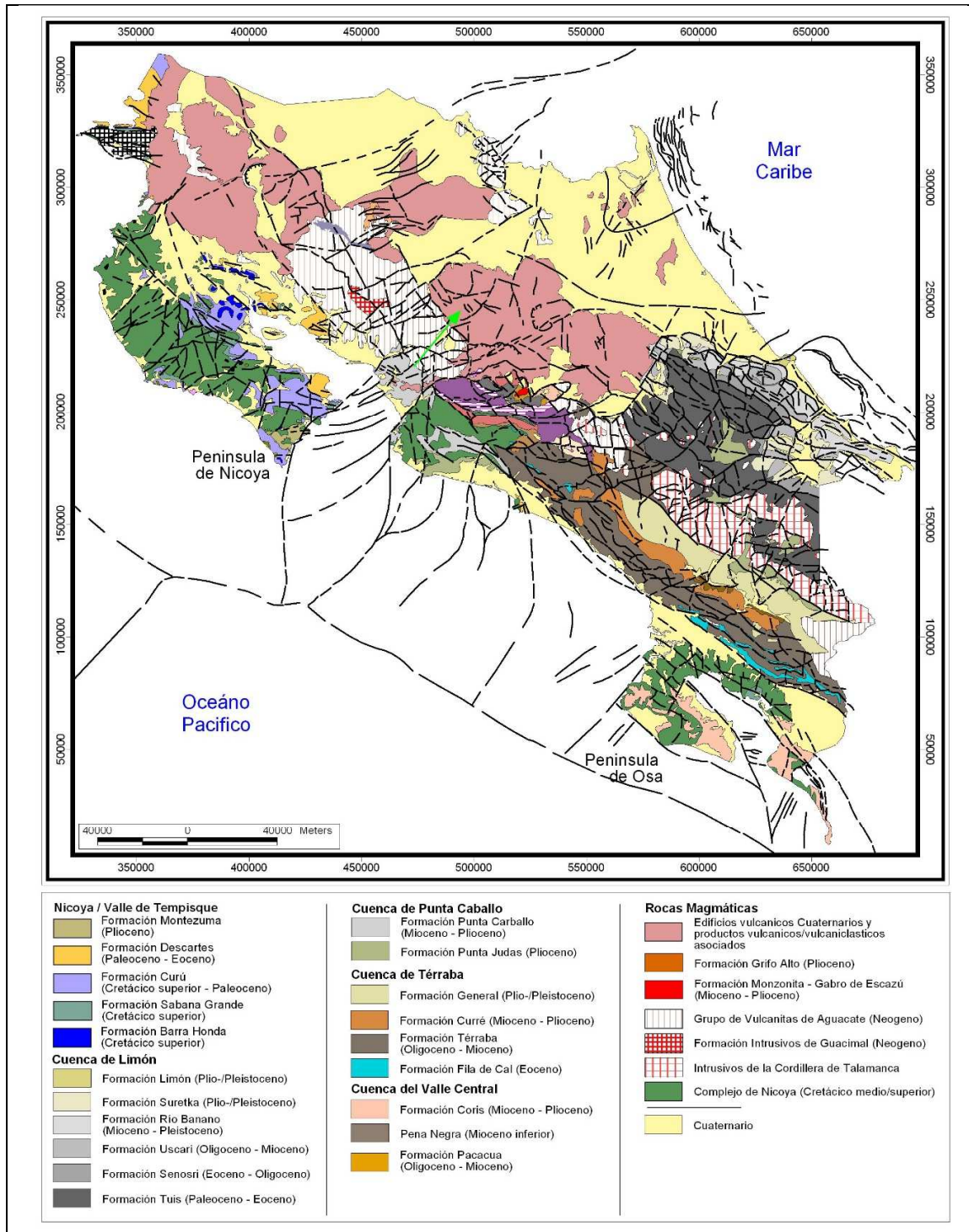


Fig. 3.3. Localización del área de estudio (marco verde) en el mapa geológico de Costa Rica (cf. MINAE, 1995).

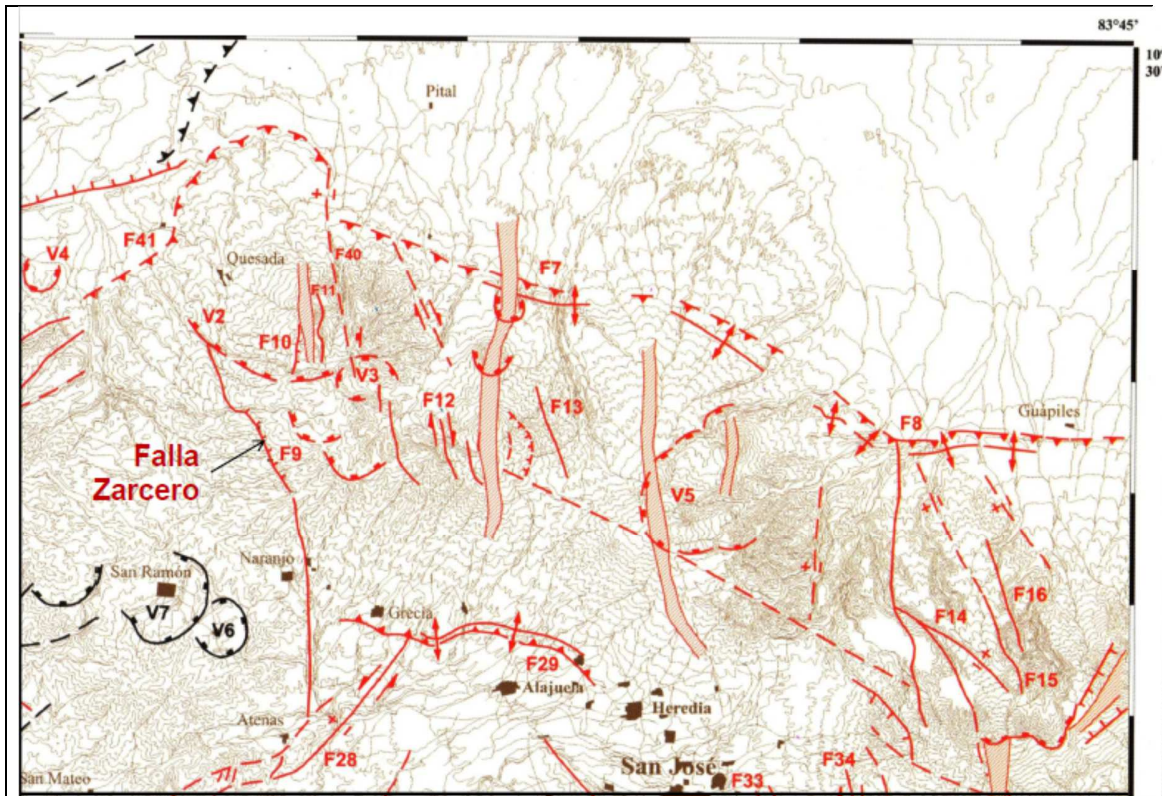


Fig. 3.4. Mapa tectónico de la Hoja San José (escala 1:200.000) tomado de Denyer et al. (2003) en la que se localiza la Falla Zarcero (F9) como una falla cuaternaria y que corta gran parte del flanco suroeste del macizo volcánico central.

Dichos autores señalan que la Falla Zarcero forma parte de una serie de fallas normales de rumbo cercano al NS y que se presentan dentro del macizo volcánico del Platanar – Porvenir – El Viejo (ver Figura 3.4).

Alvarado et al. (1988) fueron los primeros en delimitar la Falla Zarcero, pero con una falla geológica de menor extensión.

3.3 GEOMORFOLOGÍA REGIONAL

En la Figura 3.5 se indica la localización regional del área de estudio en el mapa del modelo digital de Costa Rica.

Como puede observarse, el área de estudio se presenta en la parte noroeste del Valle Central, como parte del flanco suroeste del macizo volcánico Platanar – Porvenir – El Viejo dentro de la Cordillera Volcánica Central.

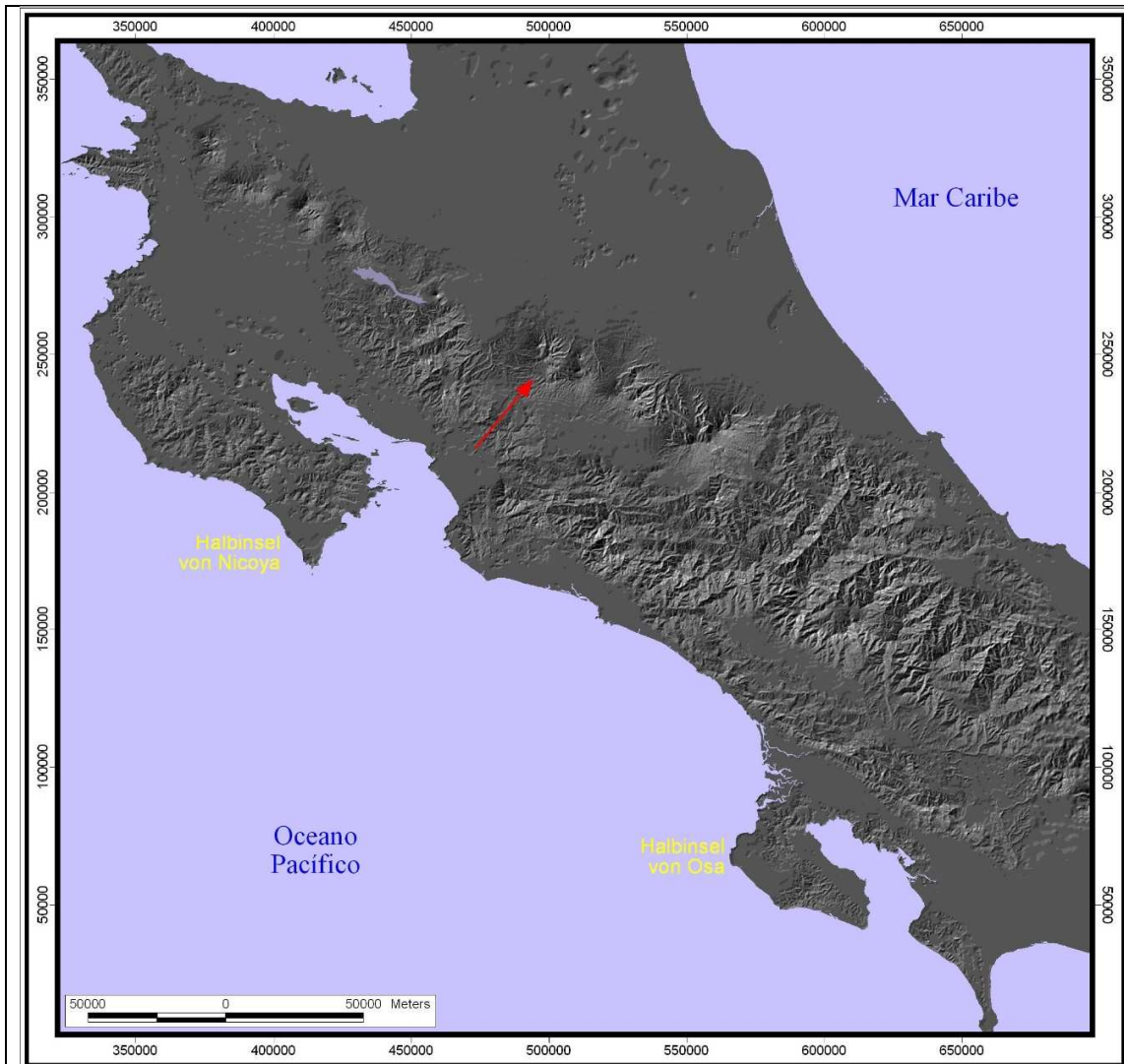


Fig. 3.5. Contexto geomorfológico regional del área de estudio (flecha roja) en el Mapa del Modelo Digital de Costa Rica. Como puede verse, el área de estudio se presenta en la parte noroeste del Valle Central, como parte del flanco suroeste del macizo volcánico Platanar – Porvenir – El Viejo dentro de la Cordillera Volcánica Central.

Desde un punto de vista regional la región de estudio muestra varias unidades geomorfológicas regionales (ver Figura 3.6).

En la Figura 3.7 se presenta la ubicación del área de estudio en el Mapa Geomorfológico de la Cordillera Volcánica Central (cf. Bergoing, 1998). Este autor sugiere que la Cordillera Volcánica posee importantes “accidentes tectónicos”, de orientación Norte – Sur, que separan a las principales estructuras volcánicas.

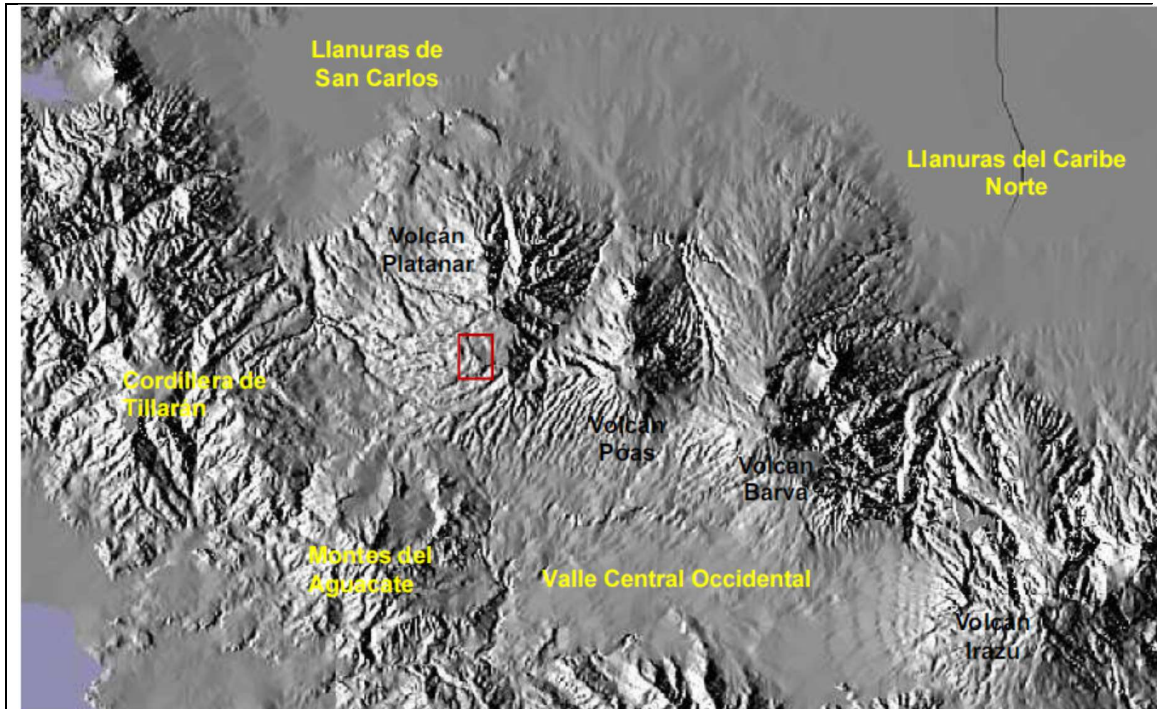


Fig. 3.6. Contexto geomorfológico subregional del área de estudio (marco rojo) en una parte del Mapa del Modelo Digital de Costa Rica.



Fig. 3.7. Localización del área de estudio (flecha roja) en el Mapa Geomorfológico de la Cordillera Volcánica Central (tomado de Bergoeing, 1998). Ver texto para detalles. Según el autor el área de estudio presenta sobre Lahares.

Dichos “accidentes tectónicos” corresponden con importantes sistemas de fallas geológicas de rumbo general, Norte – Sur (ver Figura 3.4). En algunos casos dichas fallas son utilizados por los grandes ríos que drenan la Cordillera Volcánica (Bergoeing, 1998).

La Falla Zarcero, que también tiene un rumbo general Norte – Sur, pertenece a este sistema de fallamiento geológico que caracteriza y se relaciona genéticamente con la Cordillera Volcánica Central.

4. Geología, geomorfología e hidrogeología del área de estudio

4.1 INTRODUCCIÓN

El contexto geológico y geomorfológico subregional del área de estudio es desarrollado con detalle por Rojas-Araya (2011).

En la Figura 4 del trabajo de tesis de licenciatura de dicho autor se presenta un mapa geológico de un área de cerca de 70 kilómetros cuadrados dentro de la cual se circunscribe el área de estudio aquí analizada. Como parte de la información suministrada por el autor citado, se indican los autores que trabajaron previamente en la zona.

A fin de no generar repeticiones innecesarias, de la información de Rojas – Araya (2011) se desea destacar la descripción que realiza de la unidad geológica designada como “Unidad Zarcero”, dado que es, precisamente, en esta sucesión estratigráfica en la que se ubica el área de estudio aquí analizada. Al respecto, se indica lo siguiente:

“Unidad Zarcero

Se compone de megabrechas intercaladas con cenizas, lahares y aluviones. Estos depósitos se extienden en dirección NW y se presentan localizados. Las mega – brechas se componen de bloques de composición basáltica a dacítica pero más abundantes son las andesitas con diámetros métricos a decimétricos. Los bloques son subangulares en una matriz arenosa. Aparentemente se pueden deber a una explosión lateral o un debris avalanche, con asociaciones de depósitos de lahares. El espesor es de 40 m, pero se presentan grandes variaciones laterales (Alvarado & Car, 1993; Herrera et al., 1996)”.

La información geológica aportada por Rojas – Araya (2011), así como otros autores que han trabajado previamente en la zona del Macizo Volcánico de Platanar, muestra que el conocimiento estratigráfico del mismo, es todavía incipiente. Esto, en particular debido a que se ha realizado relativamente poco cartografiado geológico de detallada escala.

4.2 GEOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO

En la Figura 4.1 se presenta el mapa geológico del área de estudio.

Como se puede observar, se presentan dos unidades geológicas principales:

- a. Rocas del Complejo volcánico Porvenir Platanar (correlacionables Unidad Zarcero), y
- b. Abanico Aluvial de Zarcero.

El complejo volcánico de Porvenir Platanar, está conformado por sucesiones de rocas de origen volcánico del Cuaternario, posiblemente de hasta de 500 mil años antes del presente.

Se compone de lavas volcánicas fracturadas, intercaladas con tobas limosas, arenosas o gravosas de diversos espesores, con presencia de paleosuelos intercalados.

El espesor de esta unidad es variable, pero como mínimo es de varias decenas de metros.

En la Figura 4.2 se muestra un ejemplo de la litología presente en el Tajo que se localiza al noroeste de la Ciudad de Zarcero y que caracteriza los tipos de roca que conforman esta unidad estratigráfica. Más adelante, en la sección en la que se explican los datos hidrogeológicos, se muestran algunas columnas litológicas de pozos que refuerzan esta caracterización.

El Abanico Aluvial de Zarcero, se presenta en el subsuelo superior de la Ciudad de Zarcero. Tiene una edad reciente, posiblemente del Pleistoceno Superior al Holoceno.

Se compone de depósitos de grano grueso, gravas y arenas de origen volcánico.

Su origen se asocia al transporte secundario de productos volcánicos por medio de corrientes fluviales y su acumulación temporal en una zona de cambio de pendiente. Se trata de un abanico de relativamente poca extensión areal, de cerca de un 1 kilómetro cuadrado.

El espesor máximo de sus depósitos es de alrededor de 25 metros. Debido a que corresponde con depósitos no consolidados, tiene una alta permeabilidad.

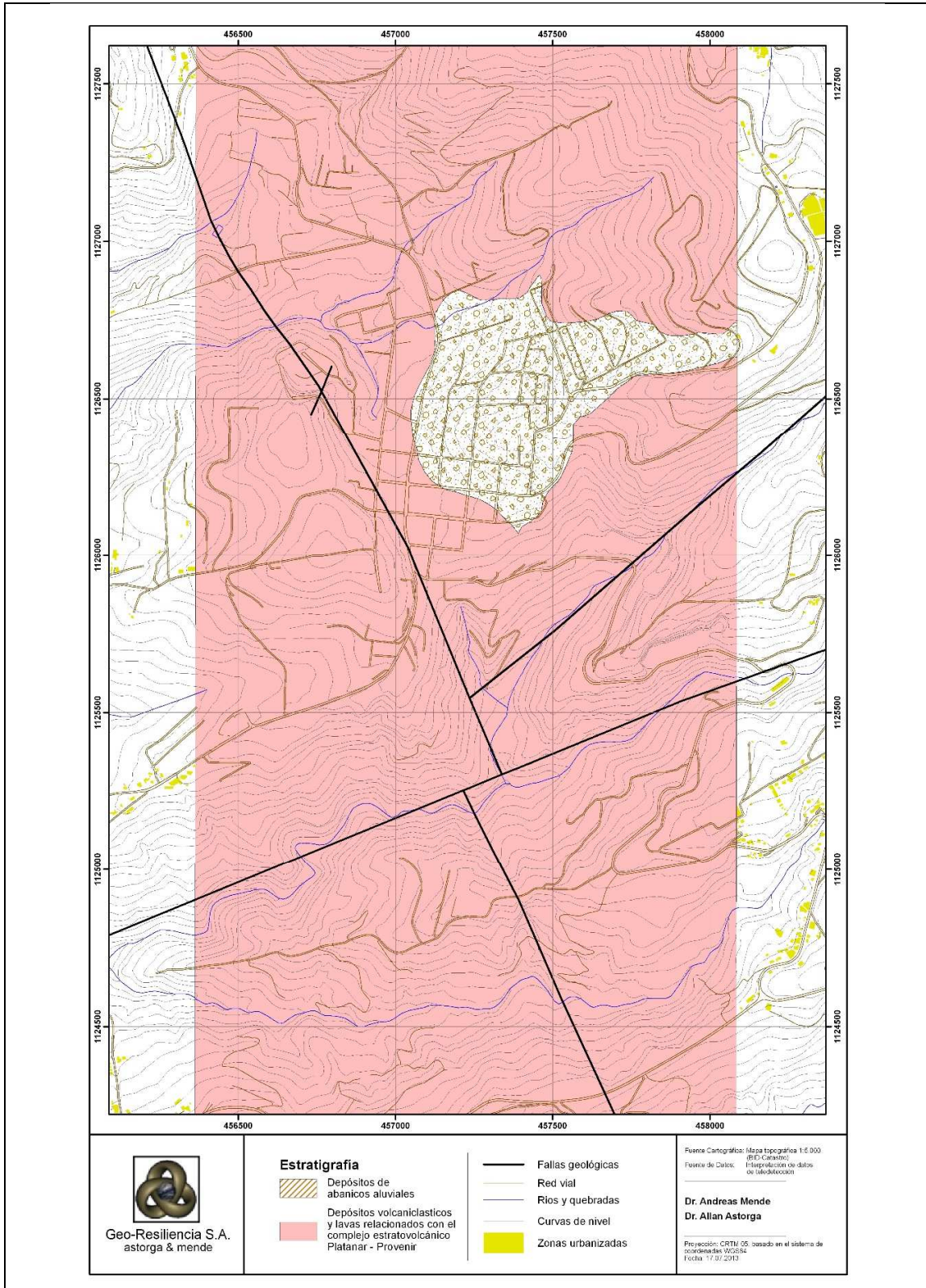


Fig. 4.1. Mapa geológico del área de estudio. Ver texto para detalles.



Fig. 4.2. Detalle del tipo de rocas volcánicas y volcanoclásticas que caracteriza a la Complejo Volcánico Platanar – Porvenir (Unidad Zarcero). El afloramiento se localiza en el Tajo al noroeste de la Ciudad de Zarcero. Las dacitas que se presentan en la parte baja del tajo, tienen una edad de 16 m.a. (cf. Alvarado & Gans, 2012).

4.3 GEOMORFOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO

La geomorfología del área de estudio está principalmente influenciada por la actividad volcánica del Complejo Estratovolcánico Platanar – Porvenir. Los cráteres principales de este complejo volcánico se ubican aproximadamente 10 km noreste del área de estudio.

Su actividad volcánica explosiva así como efusiva ha generado volúmenes muy grandes de material suelto (cenizas, piroclastos de grano grueso), así como cuerpos de rocas duras (flujos de lava, chimeneas y domos) en sus alrededores, de los cuales se ha formado una morfología inicial.

En la Figura 4.3, se presenta el Mapa Geomorfológico del área de estudio.

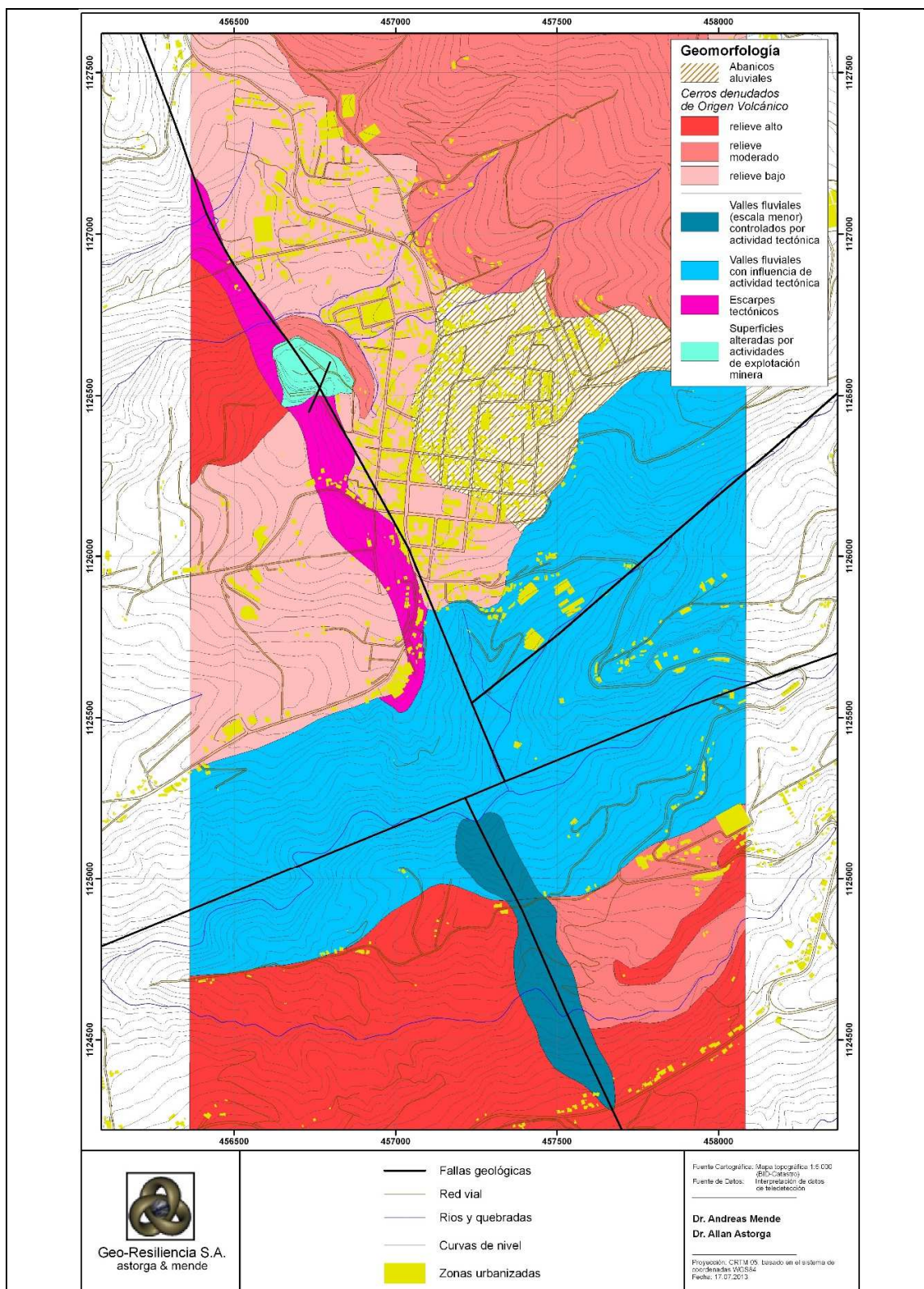


Fig. 4.3. Mapa geomorfológico del área de estudio. Ver texto para detalles.

Por medio de fuerzas exógenas (meteorización, erosión y sedimentación) así como fuerzas endógenas (tectónica y fallamiento) esta morfología se ha modificado de manera importante. La morfología actual es el resultado de esas modificaciones.

En el caso de **Cerros Denudados de Origen Volcánico** las principales fuerzas de modificación han sido las fuerzas exógenas de meteorización y erosión que han deteriorado la morfología volcánica inicial. Este tipo de morfología cubre la mayor parte del área de estudio. Según el relieve predominante se ha establecido una subclasificación (relieve alto: pendientes mayores de 45 %, moderado: con pendientes de 15 a 45 % y bajo: con pendientes menores del 15 %).

Los Escarpes Tectónicos se generan en razón de movimientos tectónicos relacionados con una falla geológica activa.

En el caso del área de estudio existe un escarpe tectónico relacionado con la Falla Zarcero, se trata de taludes longitudinales de pendiente importante con una altitud máxima de 60 metros orientados paralelo a la traza de la falla. Lógicamente, el bloque con el escarpe ha sido levantado mientras el bloque opuesto se ha hundido.

Hay que destacar que la presencia de escapes tectónicos no necesariamente significa que una falla está activa en el presente, porque después del término de los movimientos tectónicos las fuerzas exógenas de meteorización, erosión y sedimentación ocupan un tiempo para nivelar un escarpe. Por otro lado, la presencia de un escarpe tectónico relacionado con una falla si significa que hubo movimientos tectónicos en el pasado geológicamente cercano.

Trazas de fallas geológicas corresponden a zonas con una susceptibilidad aumentada a las fuerzas de meteorización y erosión debido a su carácter fracturado con sistemas de microfallas y diaclasas.

Por esa razón, los sistemas de drenaje en muchos casos se orientan de forma paralela a esos sistemas de fallas. Igualmente en el caso del área de estudio se puede observar este fenómeno en dos escalas distintas:

- En la parte Sur del área de estudio existen dos pequeños Valles fluviales controlados por actividad tectónica sobre la Falla Zarcero con una longitud acumulada de aproximadamente un kilómetro. Llama mucho la atención que en el inicio de uno de estos valles está presente una corona de un deslizamiento activo. Puede ser que este deslizamiento es una manifestación de una actividad reciente de este elemento estructural. Por otro lado los valles mayores del Río Espino y del Río Seco están

orientados sobre lineamientos estructurales y están resumidos en la unidad geomorfológica Valles fluviales con influencia de actividad tectónica.

- En la parte noreste del área de estudio se puede observar un pequeño Abanico Aluvial con una extensión de un kilómetro y un ancho de 0.75 kilómetros. Se refiere a una zona donde se acumulan materiales erosionados y provenientes de zonas más altas de los alrededores.

Superficies alteradas por actividades de explotación minera se refieren a la superficie del Tajo de Zarcero donde extraen lavas volcánicas principalmente para la producción de lastre.

4.4 DATOS HIDROGEOLÓGICOS DEL ÁREA DE ESTUDIO

Otro de los datos procesados como parte del análisis efectuado, comprendió la evaluación de datos hidrogeológicos.

Para este fin, se investigó en el archivo de pozos y nacientes del Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento (SENARA) sobre la totalidad de pozos y nacientes que se tienen registrados para el área de estudio.

En la Figura 4.4 se presenta la localización de los pozos y nacientes obtenidos del Archivo Nacional de Pozos del SENARA para el área de estudio.

Por su parte, en las figuras 4.5 y 4.6 se presentan las columnas litológicas de dos de esos pozos (QA 11 y QA 17) que muestran la condición litológica presente en el área de estudio y su potencial hidrogeológico, que es relativamente alto.

Los datos hidrogeológicos, en particular de las nacientes registradas por el SENARA y la Municipalidad de Zarcero aportan un indicio importante sobre la falla, dado que evidencian un alineamiento de las mismas con la traza de la Falla Zarcero.

El hecho de que se presenta alineación de nacientes de aguas subterráneas con la Traza de la Falla, es otra muestra de su expresividad geomorfológica, lo que refuerza su calificación como una Falla geológica activa.

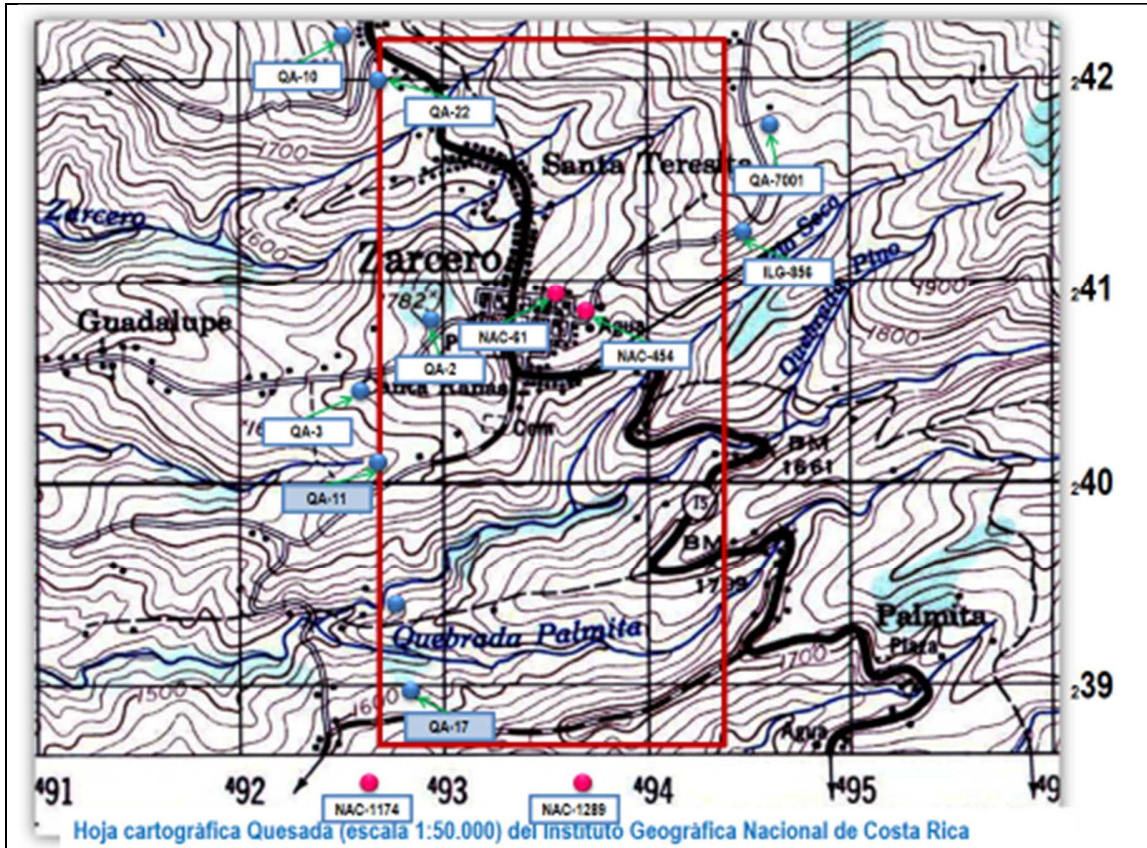


Fig. 4.4. Localización de pozos (círculos azules) y nacientes (círculos rojos) en el área de estudio.



Fig. 4.5 Datos del Pozo QA - 11.

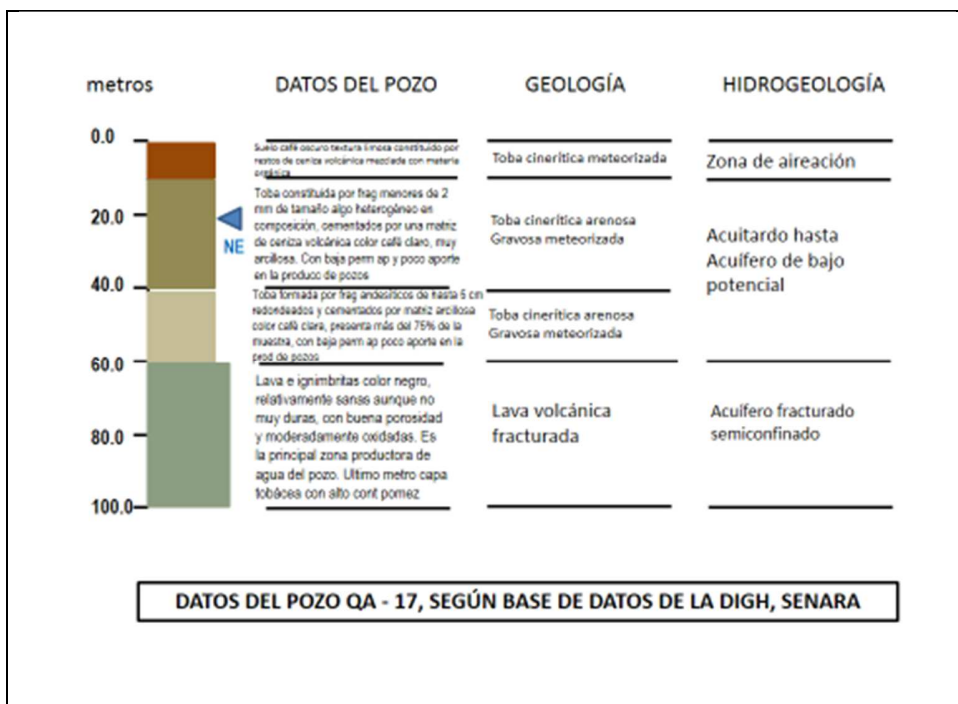


Fig. 4.6
Datos del Pozo QA – 11.

Los datos hidrogeológicos refuerzan la información litológica de la denominada Unidad Zarcero descrita más atrás. Como se puede ver de las descripciones litológicas de los pozos QA – 11 y QA – 17, se presentan tres unidades estratigráficas principales en el subsuelo superior de la Unidad Zarcero.

La unidad más superior y por tanto, reciente, corresponde con unas cenizas volcánicas de varios metros de espesor y que parecen representar uno de los últimos eventos de actividad volcánica (explosiva) del Macizo Platanar.

La unidad subyacente, corresponde con Tobas de arenosas hasta gravosas, separada por un paleosuelo. Esta unidad piroclástica también refleja volcanismo explosivo, y tiene espesores del orden de los 30 a 40 metros.

Finalmente, la unidad más inferior corresponde lavas volcánicas y dacitas (hasta ignimbritas fracturadas) que muestra actividad volcánica intensa con emanación de flujos de lava.

Estos datos litológicos coinciden bastante con el afloramiento rocoso que está expuesto en el Tajo que se localiza al noreste de la Ciudad de Zarcero.

Desde el punto de vista hidrogeológico, las lavas conforman un buen potencial acuífero del cual se producen salidas naturales de agua (manantiales) o bien extracción de agua subterránea por medio de pozos (ver Figura 4.4).

5. Caracterización neotectónica de la Falla Zarcero

5.1 ANTECEDENTES DE LA FALLA ZARCERO

Rojas – Araya (2011) presenta un claro resumen sobre los antecedentes de la Falla Zarcero, hasta la realización de su trabajo. Por su valor referencial, se presentan aquí los principales datos aportados por dicho autor:

“Alvarado & Carr (1993) describen el control estructural de los macizos volcánicos del sector occidental de la Cordillera Volcánica Central por un sistema de fracturas corticales profundas con sentido de lineamiento de N-S a NNW e indican la existencia de una fallamiento al oeste del poblado de Zarcero, el cual se infiere es la falla Zarcero.

La primera referencia documental del uso del nombre de la falla Zarcero, para aludir a uno de los sistemas de fallas normales ubicadas en el sector occidental de la Cordillera Volcánica Central, justo al suroeste del complejo volcánico Platanar – Porvenir – El Viejo, aparece en Montero (2000), quien describe un sistema de fallamiento con rumbo cercano al N – S que incluye las fallas Zarcero, Gata y Congo, las cuales se presentan dentro del macizo volcánico del Platanar – Porvenir – El Viejo y que han generado actividad sísmica esporádica.

Montero (2001) describe ampliamente el sistema de fallas de los volcanes Provenir – Platanar en un trabajo sobre neotectónica de la región central de Costa Rica. Describe a la falla Zarcero como una fractura cortical de extensión considerable que presenta un rumbo oscilante NNW, y ubicada cerca de la población de Zarcero.

La cataloga como una falla con componente normal debido a que observa cómo sus contraescarpes han desplazado depósitos volcánicos cuaternarios, lo cual también le brinda su carácter neotectónico. Dichos contraescarpes han originado también represamiento del drenaje, dando lugar a paleo – lagos (Montero, 2001).

Como se indicó previamente, Denyer et al. (2003) en el Atlas Tectónico de Costa Rica, incluyen la Falla Zarcero, como una falla cuaternaria. De acuerdo con

Rojas – Araya (2011) esos autores la presentan con un trazo más extendido que en trabajos anteriores (ver Figura 3.4).

“En carta enviada el 27 de agosto del 2008 por el geólogo Wilfredo Rojas¹ al Departamento de Construcciones de la Municipalidad de Zarcero, este indica la existencia de la falla Zarcero y la describe como una falla geológica activa que se extiende por unos 40 Km desde el NO de Atenas hasta 7 KM al S de Ciudad Quesada, con rumbo NO.

Otro trabajo de importancia fue el realizado por el geólogo Walter Montero, en febrero del 2009, el cual se realiza a petición de la Municipalidad de Zarcero, y donde presenta el trazo de dicha falla a escala 1:10.000 dentro de ese cantón. Este documento indica que la falla corta formaciones volcánicas del Cuaternario ubicadas en la vertiente oeste de los volcanes Porvenir y Platanar, en el sector oeste de la Cordillera Volcánica Central. La descripción que realiza de la falla coincide con los autores anteriormente citados, variando únicamente la extensión del fallamiento.

Debido a que en el campo, Montero (2009) reconoce la zona de falla, en la cual se ponen en contacto lavas (lado oeste de la falla) contra una secuencia de piroclastos cuaternarios (lado este de la falla), un claro escarpe de falla, la sugerencia de actividad sísmica y otras evidencias morfotectónicas, le otorga la clasificación de falla Potencialmente Activa a la falla Zarcero, de acuerdo con el artículo 42 del “Protocolo técnico: Zonificación y restricciones al uso del suelo sobre o en el ámbito territorial inmediato a fallas geológicas activas” aprobado por la Secretaría Técnica Nacional Ambiental (SETENA)”.

Rojas – Araya (2011) cita que Montero (2009) recomienda la realización de estudios de trincheras y estudios de sismicidad reciente para confirmar o descartar si la falla es activa. Como producto de esta recomendación, se realiza el trabajo de investigación del autor citado y que culmina con el trabajo de tesis de licenciatura titulado: “Neotectónica del extremo occidental de la Cordillera Volcánica Central, enfocado en la Falla Zarcero, sector oeste del Complejo Volcánico Platanar – Porvenir”.

En la Figura 5.1 se presenta el mapa de la traza de la Falla Zarcero generado Rojas – Araya (2010 y 2011). Se observa la ramificación de la Falla Zarcero al norte de la Ciudad de Zarcero.

¹ Nota del autor: el geólogo Wilfredo Rojas es un profesional de la Red Sismológica Nacional.

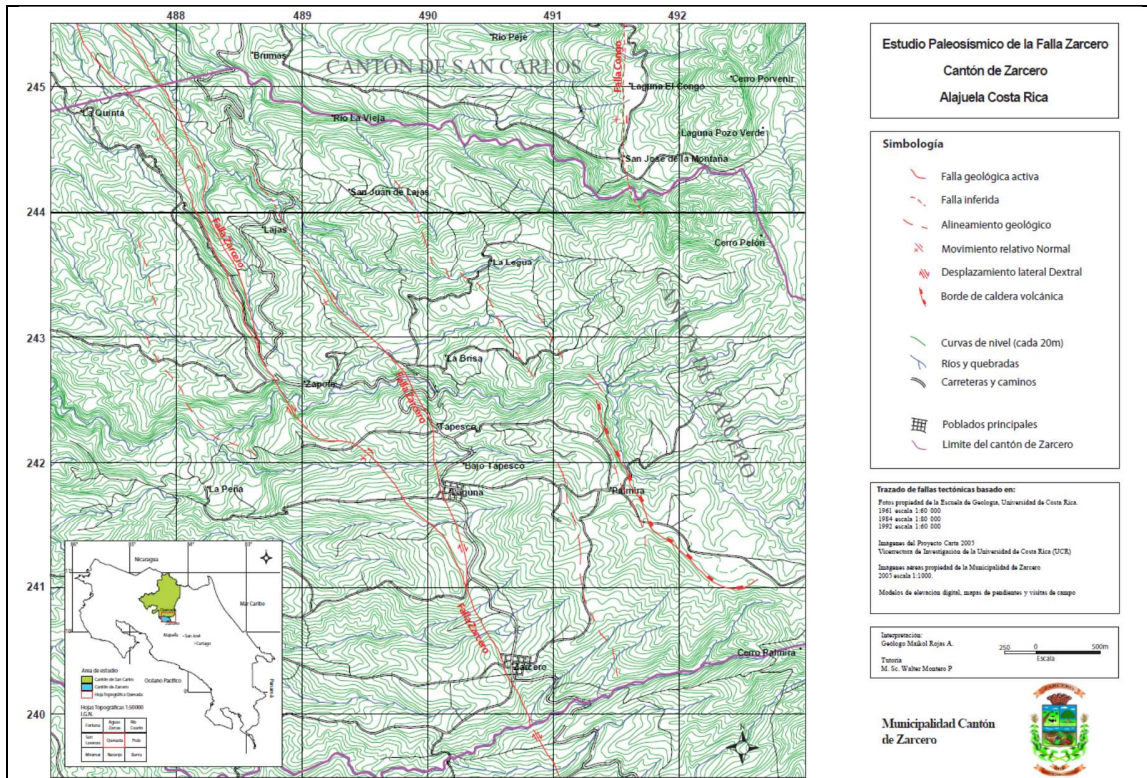


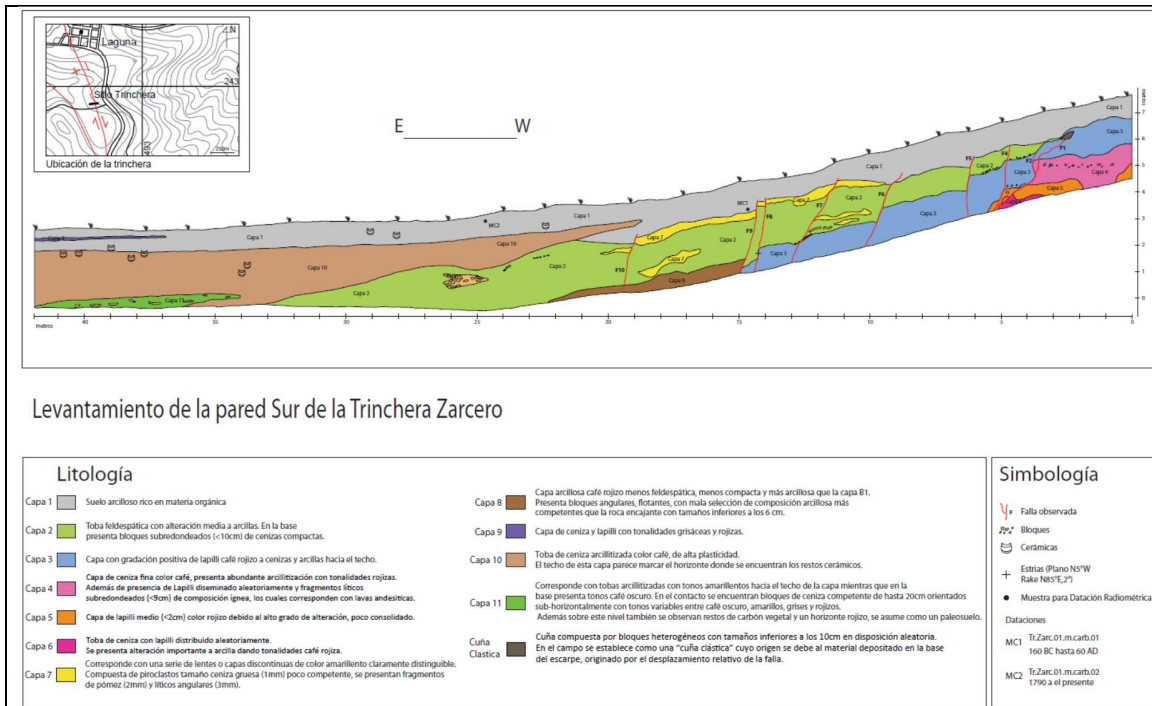
Fig. 5.1. Mapa la Falla Zarcero elaborado por Araya – Rojas (2010 y 2011) en el que se observa la ramificación de la misma al norte de la Ciudad de Zarcero.

Como parte de una carta con fecha 23 de diciembre del 2010 el geólogo Maikol Rojas Araya, presenta al Alcalde de la Municipalidad de Zarcero, el informe denominado “**Resultado de un estudio paleosísmico en la Falla Zarcero, Cantón de Zarcero, Alajuela Costa Rica**”.

El autor citado aplica varios pasos metodológicos para realizar el estudio paleosísmico y que resume en el documento citado. Como parte de ese trabajo se localiza y excava una trinchera, la cual no se localiza sobre la traza principal de la Falla Zarcero, sino en una de sus ramificaciones que se presenta al norte de la Ciudad de Zarcero (ver Figura 5.2).

Las conclusiones principales a que deriva al autor citado, son las siguientes:

1. *La falla Zarcero se caracteriza como una falla con componente normal y una posible componente dextral, con su cara libre mirando al este. El rumbo es predominantemente NNW, con una única traza reconocida cerca de Zarcero, la cual se ramifica al noroeste de este poblado. Las evidencias morfotectónicas de su existencia fueron enumeradas en el apartado II.1 y fueron comprobadas durante el estudio.*



Levantamiento de la pared Sur de la Trincherza Zarcero

Fig. 5.2. Datos técnicos de la trincherza realizada por Rojas Araya (2011) como parte del estudio paleosísmico realizado para la Falla Zarcero. La trincherza se realiza en una ramificación de la Falla Zarcero, al norte de la Ciudad homónima.

- En base al estudio de trincherza, a los resultados de las dataciones radiométricas y a las características morfotectónicas de la zona se cataloga a la falla Zarcero como una falla geológicamente activa. Esto de acuerdo a lo estipulado en el artículo 4.3 del "Protocolo técnico: Zonificación y restricciones al uso del suelo sobre o en el ámbito territorial inmediato a fallas geológicas activas" aprobado por la Secretaría Técnica Nacional (SETENA) y publicada en la Gaceta N° 85, del jueves 4 de mayo del 2006. La datación Carbono 14 de una muestra vegetal en un horizonte fallado demuestra que la falla está activa de acuerdo al anterior protocolo.
- La información técnica disponible no es suficiente para reducir la zona de falla, según lo estipula el artículo 5.3 de dicho protocolo mencionado anteriormente, **ya que se tienen datos muy puntuales y no se recomienda generalizar estos para ser aplicados a toda la longitud de la falla.** En vista de lo anterior se recomienda mantener la zona de restricción en lo referente a desarrollo de obras de ocupación humana en 50m a cada lado del trazo de falla, según lo establecido en el artículo 5.2 del "Protocolo técnico: Zonificación y restricciones al uso del suelo sobre o en el ámbito territorial inmediato a fallas geológicas activas".

4. Para obras específicas **se recomienda la realización de un estudio Neotectónico puntual**, esto si se desea acogerse a los lineamientos para la reducción de la zona de seguridad estipulada en el artículo 5.3 de dicho protocolo técnico.
5. La zona de seguridad establecida en base a este estudio y enmarcada dentro de los lineamientos del “Protocolo técnico: Zonificación y restricciones al uso del suelo sobre o en el ámbito territorial inmediato a fallas geológicas activas” es un área de restricción y No de prohibición. De acuerdo al artículo 5.8 (a) se tiene que:

“El área de seguridad establecida en el estudio geológico representa el espacio geográfico que presenta restricciones para el desarrollo de infraestructura de ocupación humana. Tiene carácter de área especial según lo establecido en la Ley de Planificación Urbana, o bien de zona de riesgo inminente, de conformidad con la Ley de Emergencias. En razón de ello, sobre la base de los argumentos técnicos que sustentan su definición, dicha área deberá ser respetada por todas la autoridades que tramitan permisos o autorizaciones vinculadas al uso del suelo.”

Y se define en el artículo 4 (8) el término de Infraestructura de ocupación humana como:

“Es cualquier estructura o infraestructura usada o con el propósito de albergar o proteger cualquier uso u ocupación, de la cual se espera que se sirvan o dependan directamente de ella una ocupación humana mayor de 2000 personas-hora por año.”

De los datos previos resulta relevante destacar lo siguiente:

1. Los resultados indicados para la falla, no se refieren específicamente para la Falla Zarcero, sino para el ramal de la misma que se localiza al norte de la Ciudad de Zarcero (ver Figura 5.1).
2. La falla analizada es calificada como activa en virtud de los resultados de la datación radiométrica que indica que la edad mínima de la capas de material volcánico afectado es de 2.000 años.
3. Los datos de la trinchera presentados (ver Figura 5.2) muestran que el ramal de la falla analizado, no afecta la capa superior de suelo presente en el sitio.

4. El autor recalca que los resultados del estudio son “muy puntuales” y que no se recomienda generalizar los mismos para toda la longitud de la falla.
5. Además de lo anterior, el autor recomienda la realización de un estudio neotectónico puntual.
6. Y, finalmente, se señala que con los datos procesados, no se puede reducir la zona de seguridad de 50 metros, por lo que recomienda que se mantengan las restricciones dentro de esa zona.

5.2 RESTRICCIONES AL USO DEL SUELO PARA LA FALLA ZARCERO

Como consecuencia de la información técnica sobre la Falla Zarcero aportada por los geólogos de la Universidad de Costa Rica, según lo indicado en la sección anterior, a la Municipalidad de Zarcero, particularmente la entidad de ésta que tramita los “uso del suelo” y los permisos de construcción, y en concordancia con lo señalado en el Decreto Ejecutivo No. 32967 – MINAE, se procedió a aplicar una zona de seguridad de 50 metros a ambos lados de la traza de la falla.

En cumplimiento con el decreto ejecutivo citado, en dicha zona de seguridad se procedió a generar restricciones al uso del suelo dentro de la misma.

Consecuencia de ello, algunos de los ciudadanos del cantón organizados como parte del denominado Grupo Pro defensa del patrimonio del Cantón de Alfaro Ruiz (Zarcero) presenta una demanda contra la Municipalidad de Zarcero, ante el Tribunal Contencioso Administrativo. Como parte de esa demanda, el grupo indicado solicita al Tribunal Contencioso Administrativo el establecimiento de una medida cautelar dirigida a que dicho Tribunal suspendiera las restricciones al uso del suelo implementadas por la Municipalidad para la zona de seguridad de la falla Zarcero.

Como producto de esto, en Resolución Oral del Tribunal Contencioso Administrativo, para el expediente 734 – 2010, dictada el 26 de febrero del 2010, declara sin lugar la medida cautelar anticipada solicitada por el Grupo antes citado.

Esta resolución del Tribunal Contencioso tiene una importante consecuencia práctica, en la medida de que obliga a la Municipalidad a seguir aplicando las restricciones al uso del suelo en la zona de seguridad de la falla. Ello, al menos hasta que se realice un Estudio Neotectónico más detallado, que permita dilucidar con mayor claridad el alcance de esas restricciones. Tarea que se realiza mediante presente estudio técnico.

5.3 MODELO DIGITAL DEL TERRENO Y TRAZA DE LA FALLA ZARCERO

5.3.1 Introducción

Tal y como se explicó en la presentación de la oferta de servicios para la realización de esta investigación, el desarrollo de un modelo digital del terreno para el área de estudio, resulta indispensable, como parte del análisis preliminar de identificación de alineamientos y estructuras que puede ser interpretadas como fallas geológicas.

Para el desarrollo de un Modelo Digital de Terreno (MDT) preciso, es necesario contar con una cartografía lo más detallada posible. En razón de ello, el primer paso que se fue realizado para la generación de MDT ha sido la obtención de la información cartográfica y digital elaborado por el Programa de Regulación y Catastro para el cantón de Zarceró.

Para lo indicado, se procedió a realizar una solicitud formal al Alcalde y Vice - Alcaldesa de la Municipalidad de Zarceró. Luego de ello, se programó, junto con el Dr. Mende (encargado del SIG), una visita a Zarceró para obtener de parte de la Municipalidad la información digital señalada.

Una vez que se obtuvo la información digital, se procedió a procesarla mediante un Sistema de Información Geográfico (SIG). A su vez, cuando se generó el MDT, se realizó una interpretación preliminar para la identificación de alineamientos y estructuras que podrían calificarse como potenciales fallas geológicas.

5.3.2 Resultados de la interpretación del Modelo Digital de Terreno

En la Figura 5.3 se presenta el Modelo Digital de Terreno generado para un área de análisis mayor y en la que circunscribe el área de estudio en los alrededores de Zarceró. Como parte de la Figura 5.3 se muestra la identificación de alineamientos estructurales relacionados con fallas geológicas.

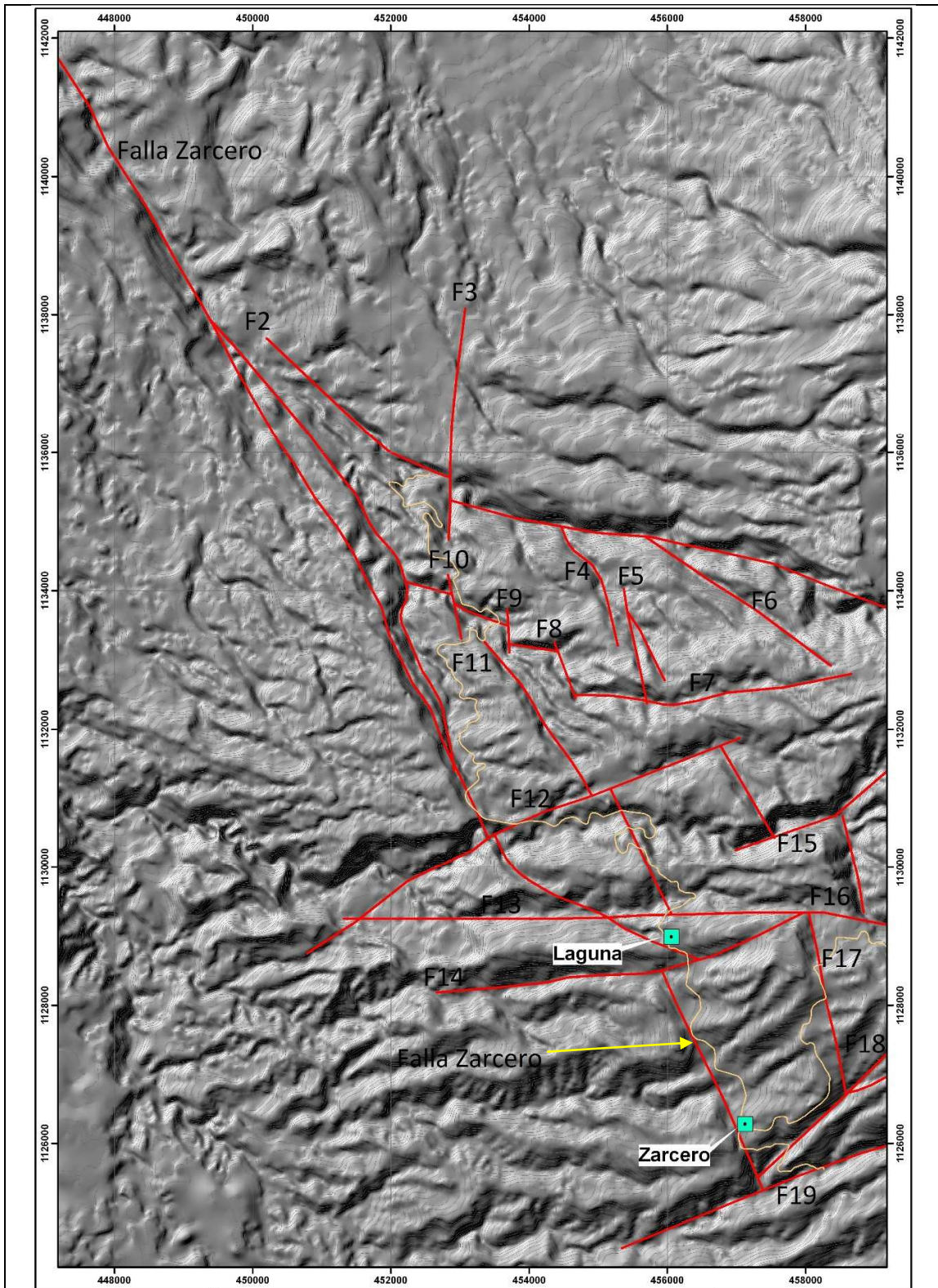


Fig. 5.3. Modelo digital de terreno e interpretación de alineamientos y del trazo de la Falla Zarcero. Cartografía a escala 1:5.000.

Es importante aclarar que en razón de que es posible utilizar una base cartográfica que tiene un grado de detalle alto, a escala 1:5.000, es posible identificar con mayor precisión la traza de la Falla Zarcero, así como otros alineamientos estructurales presentes en el área de estudio, asociados aquí a fallas geológicas de menores dimensiones.

Como puede verse en la Figura 5.3 se lograron identificar 19 alineamientos estructurales además de la Falla Zarcero. Es importante aclarar que dichos alineamientos, se califican como tales, en razón de que no se asocian a una estructura volcánica compleja (Macizo Volcánico Chocosuela – Platanar) y este factor complica la interpretación genética de dichos alineamientos. En consideración de ello, en la Figura 5.3 solamente al trazo de la Falla Zarcero se le da ese nombre.

Como se puede notar la misma pasa al costado oeste de la Ciudad de Zarcero y continúa en sentido noroeste, pasando por la comunidad de Laguna.

La Falla Zarcero, tal y como había señalado Rojas – Araya (2011) se bifurca al noroeste de Laguna, en dos “ramales” de la falla principal.

Se aclara que el resto de alineamientos estructurales identificados por interpretación del Modelo Digital del Terreno no son objeto de análisis geológico - neotectónico, como si lo es la Falla Zarcero.

Sin embargo, el reconocimiento de esos lineamientos estructurales tiene cierto grado de relevancia para el análisis neotectónico de la Falla Zarcero. Como se puede observar en la Figura 5.3, la Falla Zarcero a pesar de ser una falla geológica extensa (más de 20 Km, ver Figura 3.4), al menos para el área de estudio aquí analizada, presenta la característica de que se encuentra segmentada, es decir, que es cortada por alineamientos estructurales más jóvenes, que la separan en segmentos menores.

De esta manera, en el sector de Zarcero y Laguna, la Falla Zarcero es cortada por los alineamientos F12, F13, F14 y F19.

Este aspecto es relevante de tomar en cuenta si se contempla el hecho de que es altamente probable que la Falla Zarcero tenga una componente horizontal de movimiento (desplazamiento de rumbo), razón por la cual el hecho de que se presente “cortada” o segmentada hace que dicho tipo de movimiento sea más limitado.

Esta misma circunstancia podría hacer que el movimiento de la falla geológica, y por tanto, el potencial de ruptura en superficie, pudiera estar diferenciado para los diferentes segmentos.

En términos prácticos, y respecto al área de estudio (Ciudad de Zarcero y alrededores), los resultados de la interpretación del Modelo Digital del Terreno, permiten concluir que basado en el criterio de segmentación de la falla geológica, el potencial de amenaza de la Falla Zarcero, desde el punto de vista de generación de un evento sísmico y de potencial ruptura en superficie es comparativamente más reducido al hecho de que se presentara como una traza continua no interrumpida, como ocurre hacia el Noroeste del terreno analizado en la Figura 5.3.

Por su parte, en la Figura 5.4 se presenta la comparación de la traza de la Falla Zarcero con respecto al trazo de la falla establecido por Rojas – Araya (2011), mostrándose algunos ajustes, como consecuencia del aumento de escala de análisis.

En la Figura 5.4 además de la Falla Zarcero, se indican otras fallas geológicas identificadas por Rojas – Araya (2011).

Esas fallas se señalan como líneas a trazos de color blanco.

En color rojo se indican la Falla Zarcero y los alineamientos estructurales interpretados según el Modelo Digital de Terreno.

Como se puede ver existe bastante coincidencia con la mayoría de las fallas previamente reconocidas, solo que su trazo de ajusta, debido a la mayor precisión de la información cartográfica.

A fin de tener una visión algo más detallada de la situación estructural de la zona analizada con el Modelo Digital del Terreno, en la Figura 5.5 se presenta una imagen tridimensional del mismo.

Como se puede observar, el reconocimiento de los lineamientos estructurales tiene una clara expresividad geomorfológica, lo cual queda claramente evidenciado en el Modelo Digital del Terreno.

Cabe aclarar que este tipo de patrón estructural, limitado por lineamientos de diversas dimensiones, no resulta nuevo para un el contexto geológico en que se localiza. Al respecto ya fue señalado que la Cordillera Volcánica Central presenta una significativa fracturación tectónica, como producto de un relativamente complejo sistema de esfuerzos tectónicos que lo afectan (ver Denyer et al., 2003), así como el desarrollo de alineamientos asociados al desarrollo de rocas volcánicas.

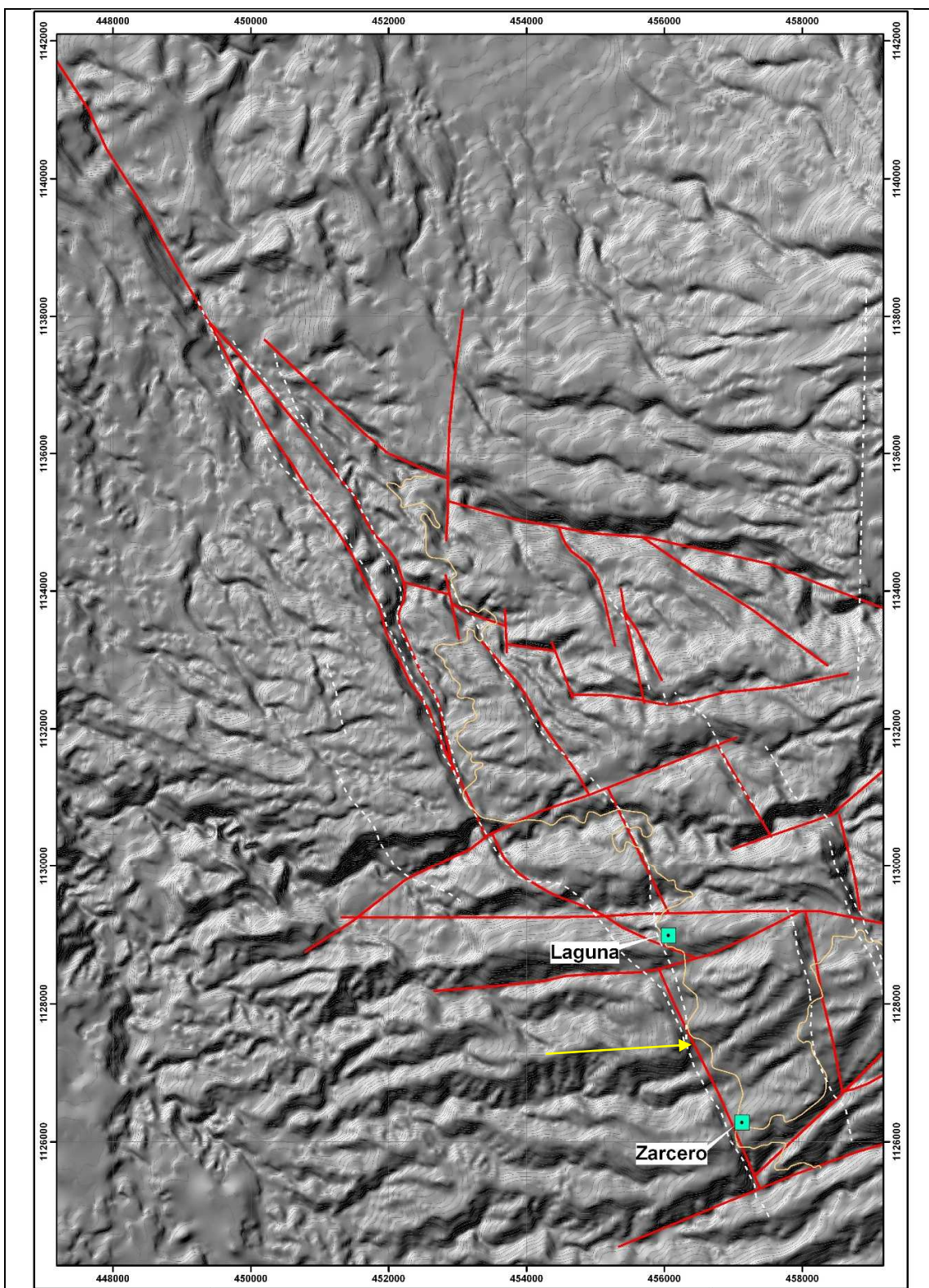


Fig. 5.4. Comparación de la traza de la Falla Zarcero según Rojas – Araya (2011, líneas blancas a trazos) y la traza de Falla según la interpretación del MDT de este estudio.

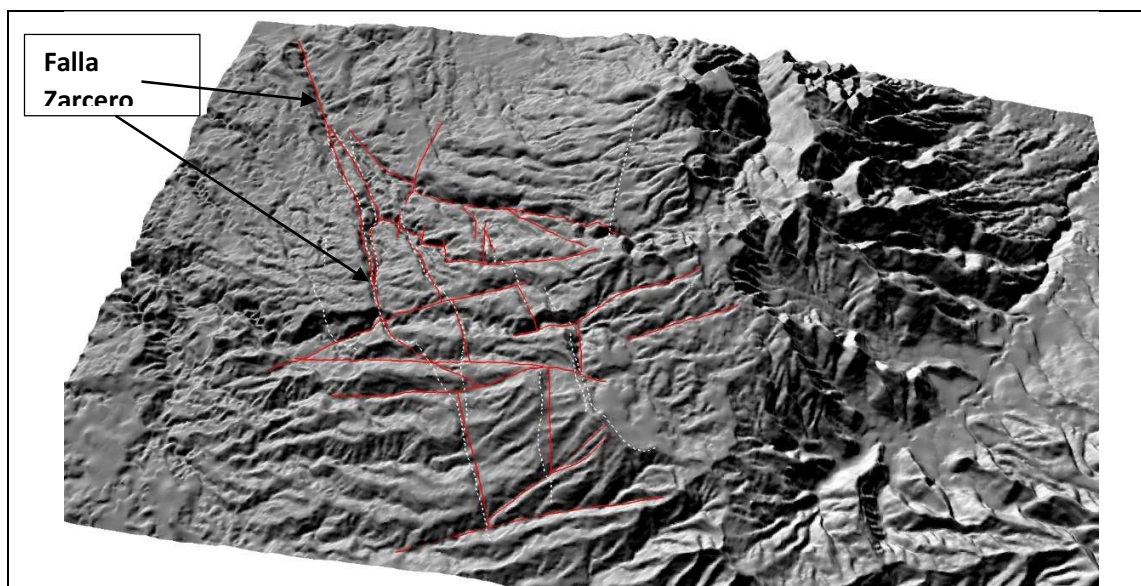


Fig. 5.5. Comparación de la traza de la Falla Zarcero según Rojas – Araya (2011, líneas blancas a trazos) y la traza de Falla según la interpretación del MDT de este estudio. Se observan además, otros lineamientos estructurales observados en el área

Inclusive algunos de los lineamientos estructurales identificados en la Figura 5.4, coinciden con estructuras geológicas ya identificadas en el Atlas Tectónico de Costa Rica (cf. Denyer et al., 2003; ver Figura 3.4).

5.4 FOTOINTERPRETACIÓN

Otro trabajo realizado hasta ahora ha comprendido la compilación e interpretación de las series de fotografías aéreas oficiales e histórica en poder del Instituto Geográfico Nacional de Costa Rica.

Se identificaron fotografías aéreas para el área de estudio (ciudad de Zarcero y alrededores) para los siguientes años: 1945, 1964, 1981, 1988 y 1992.

Para todos estos años fue posible obtener los "pares estereoscópicos" a fin de poder hacer la fotointerpretación respectiva, a partir de imágenes tridimensionales.

En la Figura 5.6 se presenta un ejemplo de esas fotografías aéreas. En este caso se trata de la fotografía 1534, tomada el 22 de enero de 1964.

Por su parte, en la Figura 5.7 se presenta la interpretación preliminar de la traza de la Falla Zarcero en la Ciudad de Zarcero y al sur de la misma.

Además del trazo de la falla, durante la interpretación se realizó un interesante hallazgo, pues se encontraron una serie de pequeñas áreas inestabilizadas que están alineadas con la traza de la falla.

Este dato permite concluir, en primera instancia, que la falla muestra rasgos geomorfológicos alineados que representan un criterio importante que apunta a que se trate de una falla geológicamente activa, tal y como se ha señalado previamente.

Este dato es compatible con lo analizado para el Modelo Digital del Terreno (ver sección previa) y más bien, lo complementa, permitiendo detallar el análisis y aumentar la seguridad de la interpretación que se pueda realizar.



Fig. 5.6. Foto aérea del IGN, del año 1964. La topografía cubre el sector sur de la Ciudad de Zarcero.

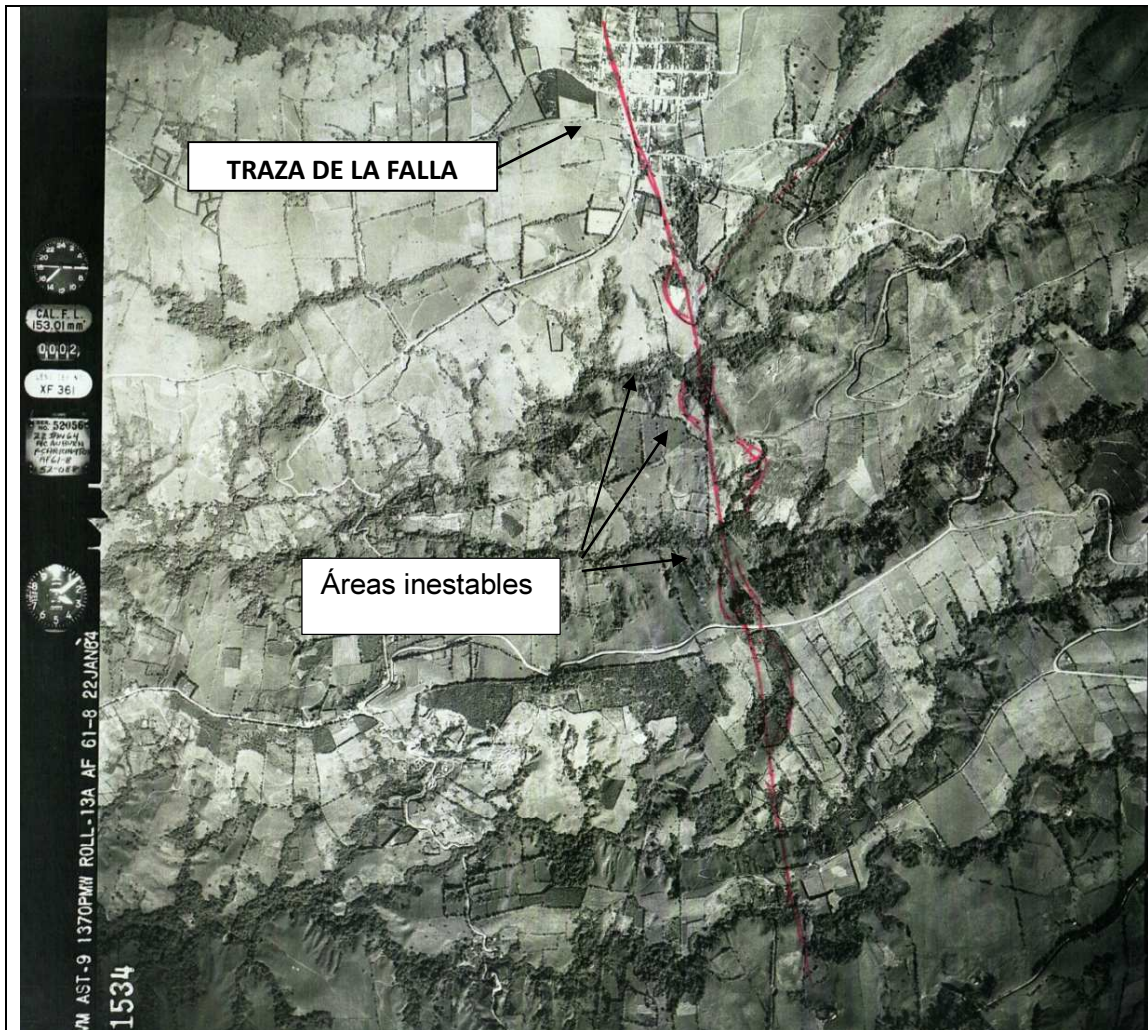


Fig. 5.7. Traza de la falla en la Foto aérea del IGN, del año 1964.

5.5 DATOS DE LITOLÓGIA DE POZOS

Como parte del trabajo realizado, también se llevó a cabo un inventario sistemático de los pozos y nacientes registrados en el Archivo Nacional de Pozos (y Nacientes) del Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento (SENARA).

Se identificaron un total de 28 pozos de extracción de aguas subterráneas. Tienen profundidad variables, siendo los 100 metros el mayor.

Cinco de esos pozos tienen datos de litología, la cual se ha interpretado, dos de los cuales se localizan dentro del área de estudio y se presentan en las figuras 4.5 y 4.6.

De igual manera se identificaron un total de 11 nacientes (o manantiales) dentro del área de estudio. Algunas de ellas, se alinean a la estructura de la falla (fuera del área de estudio)

Esta información hidrogeológica, aunque es de tipo principalmente indirecta, sirve como elemento técnico adicional al análisis geológico que se realiza a la falla geológica.

5.6 DATOS DEL REGISTRO DE SISMICIDAD INSTRUMENTAL

A fin de verificar la situación de la Falla Zarcero respecto al registro de eventos sísmicos registrados para el área de estudio, se adquirió la información disponible sobre este tema en la Red Sismológica Nacional.

En la Tabla 5.1 se presenta la lista de sismos registrados para el área de estudio por la Red Sismológica Nacional.

En la Figura 5.8 se muestra el reporte técnico sobre los sismos registrados para el área de estudio elaborado por un Sismólogo de la Red Sismológica Nacional.

Por su parte, en la Figura 5.9, se muestra la localización de los sismos, categorizados, según su magnitud, sobre el mapa del modelo digital de terreno del área de estudio con la ubicación de las fallas geológicas identificadas, en particular, la traza de la Falla Zarcero.

Llama la atención que sobre la traza de la Falla Zarcero no se muestra evidencia de sismos, ni en sus cercanías inmediatas.

En primera instancia este elemento podría vincularse a la característica ya señalada de segmentación de la Falla Zarcero, aspecto que, en principio podría reducir notablemente su potencial sísmico.

No obstante, esta interpretación debe considerarse como aproximada, en la medida de que se considere el margen de error que existe en la localización de los epicentros sísmicos.

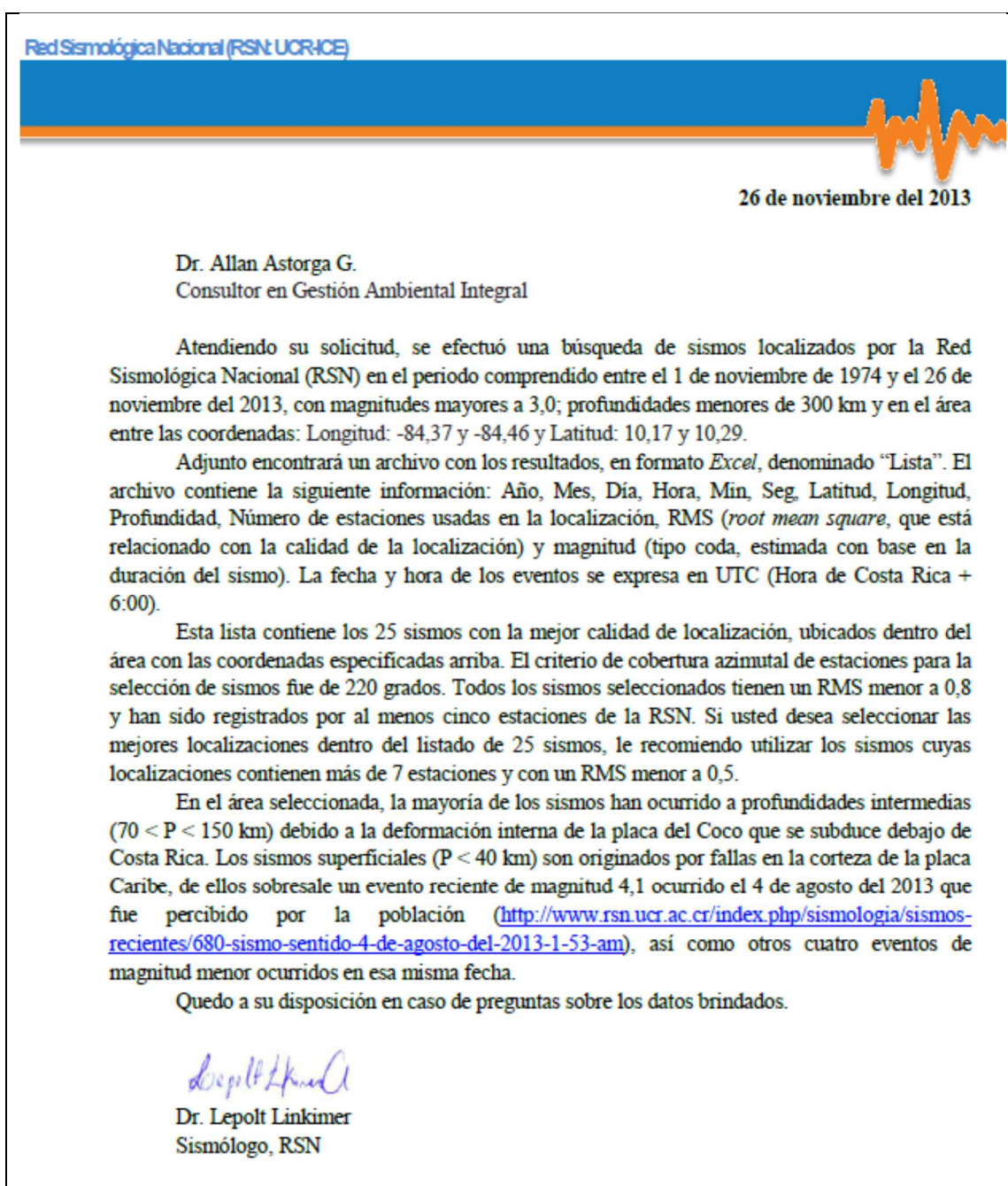


Fig. 5.8. Reporte de sismos aportado por la Red Sismológica Nacional y cuyo listado se presenta en la Tabla 5.1.

Tabla 5.1

Datos de los sismos registrados en el sector de Zarcero

#	Año	Mes	Día	Hora	Min	Segundos	Latitud	Longitud	Profundidad (km)	Número de estaciones	RMS	Magnitud
1	1997	2	16	1	44	53.3	10.191	-84.425	7.0	11	0.6	3.2
2	1997	4	22	9	42	48.3	10.287	-84.398	93.9	7	0.6	3.0
3	1998	1	27	5	39	2.1	10.254	-84.447	3.8	7	0.4	3.3
4	2000	7	8	11	1	57.0	10.290	-84.443	90.6	11	0.4	3.1
5	2001	7	3	4	2	1.9	10.212	-84.427	6.1	5	0.4	3.0
6	2001	11	17	8	33	15.5	10.288	-84.393	85.5	8	0.5	3.2
7	2002	10	21	7	0	9.7	10.232	-84.452	75.8	7	0.8	3.2
8	2002	12	24	8	42	25.6	10.277	-84.404	94.6	11	0.4	3.6
9	2006	12	23	2	35	44.4	10.201	-84.417	66.6	11	0.3	3.0
10	2008	8	16	18	16	39.4	10.280	-84.430	69.8	7	0.6	3.1
11	2009	1	13	10	54	46.4	10.276	-84.381	5.8	7	0.3	3.5
12	2009	8	17	8	52	54.2	10.246	-84.402	87.5	9	0.4	3.4
13	2010	10	2	3	15	29.0	10.236	-84.382	91.8	5	0.2	3.4
14	2012	4	11	7	10	41.2	10.187	-84.419	14.2	15	0.6	3.9
15	2012	8	7	16	10	59.7	10.217	-84.446	93.1	22	0.4	4.5
16	2012	8	23	7	0	48.7	10.202	-84.417	31.4	5	0.2	3.4
17	2012	9	11	13	49	1.7	10.208	-84.429	67.9	13	0.5	3.5
18	2013	1	21	7	11	35.7	10.262	-84.410	87.2	27	0.6	3.9
19	2013	1	29	7	17	58.7	10.259	-84.403	91.0	21	0.5	3.7
20	2013	5	18	5	1	24.0	10.266	-84.380	106.9	16	0.5	3.3
21	2013	8	4	5	10	30.1	10.236	-84.380	11.4	13	0.5	3.1
22	2013	8	4	5	19	53.7	10.173	-84.416	24.0	6	0.4	3.0
23	2013	8	4	5	19	25.2	10.236	-84.376	14.3	8	0.4	3.1
24	2013	8	4	5	43	22.2	10.224	-84.384	18.3	8	0.2	3.1
25	2013	8	4	7	53	9.7	10.268	-84.371	4.7	22	0.5	4.1

Fuente: Red Sismológica Nacional.

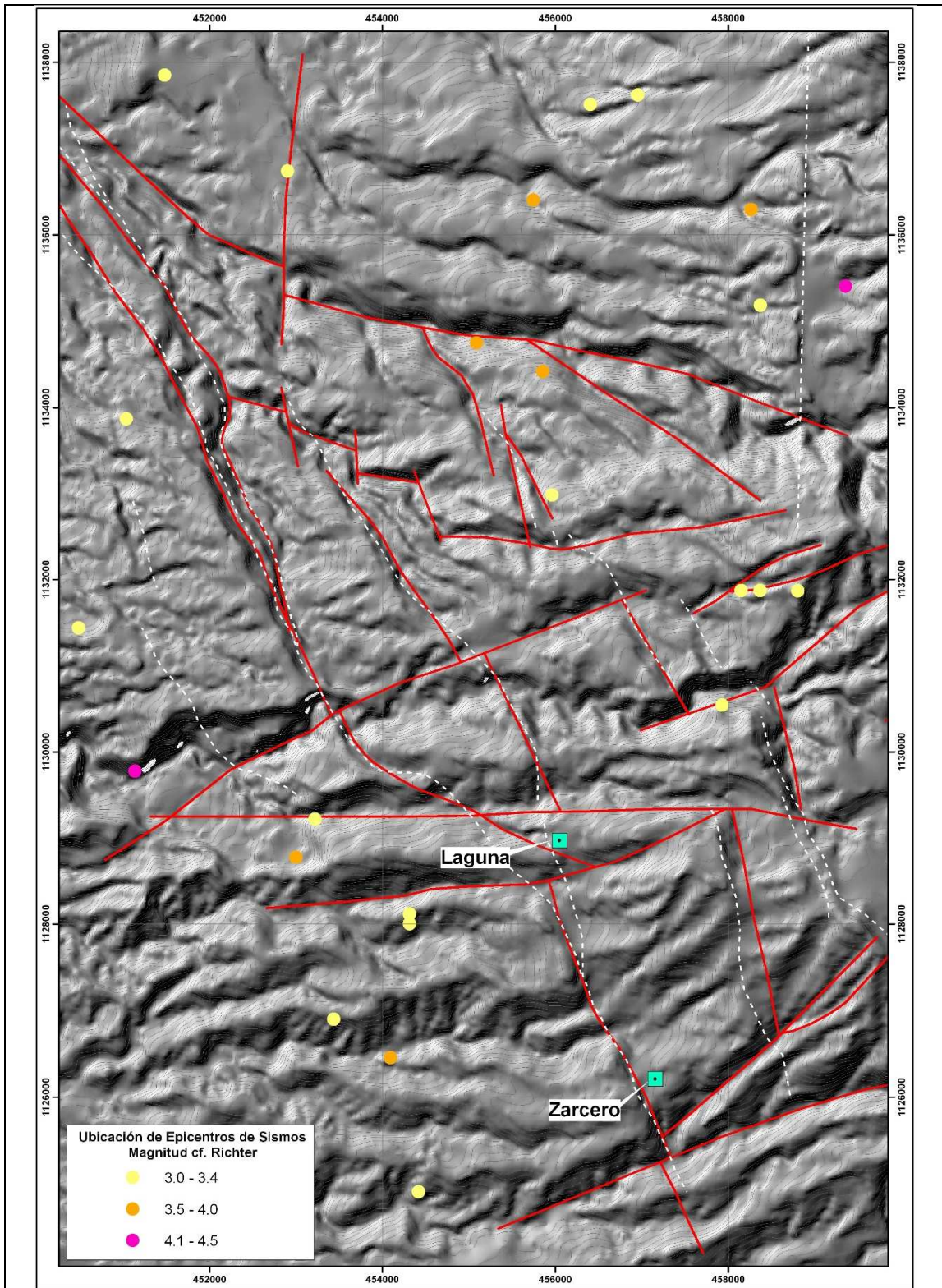


Fig. 5.9. Localización de epicentros de sismos registrados por la Red Sismológica Nacional desde el año 1997. Sismos ordenados por magnitud.

Esta circunstancia, aunque no es determinativa por sí sola, podría representar un indicio importante de que dicha falla geológica aunque podría estar activa, no muestra evidencias de actividad SUPERFICIAL, para el periodo que cubre el registro sísmico de la Red Sismológica Nacional.

Este aspecto resulta relevante, en la medida de que con el Terremoto de Chinchona, era de esperarse que se diera alguna actividad significativa, como parte de la activación de micro bloques tectónicos de su área de influencia.

En la Figura 5.10 se presenta el mapa de sismos registrados por la Red Sismológica Nacional, ordenados según la profundidad en kilómetros. Se observa que algunos de los sismos de baja profundidad se alinean sobre algunas de las trazas de fallas sugiriendo un posible origen a los mismos. No obstante, también llama la atención el hecho de que ningún sismo somero se vincula a la traza de la Falla Zarcero.

5.7 ANÁLISIS DE PALEOSISMICIDAD (TRINCHERAS Y AFLORAMIENTOS)

5.7.1 Introducción

El estudio de paleosismicidad, representado principalmente por la construcción de trincheras técnicamente localizadas según la traza de falla identificada, tiene como objetivo primordial observar si la falla corta estratos roca del subsuelo superior y del suelo. Esto a fin de determinar su potencial de ruptura en superficie, lo cual es clave para disminuir o en su defecto dejar la zona de seguridad de 50 metros ya establecida, e incluso, en algunos casos, subir el ancho de la misma (cuando se trata de zonas de ruptura anchas).

En el caso de la Falla Zarcero, y el estudio neotectónico planteado por la CNE para el área de la Ciudad de Zarcero y alrededores, se planteó el desarrollo de al menos tres trincheras a lo largo de la traza de la falla, a fin de tener un más completa y precisa fuente de información.

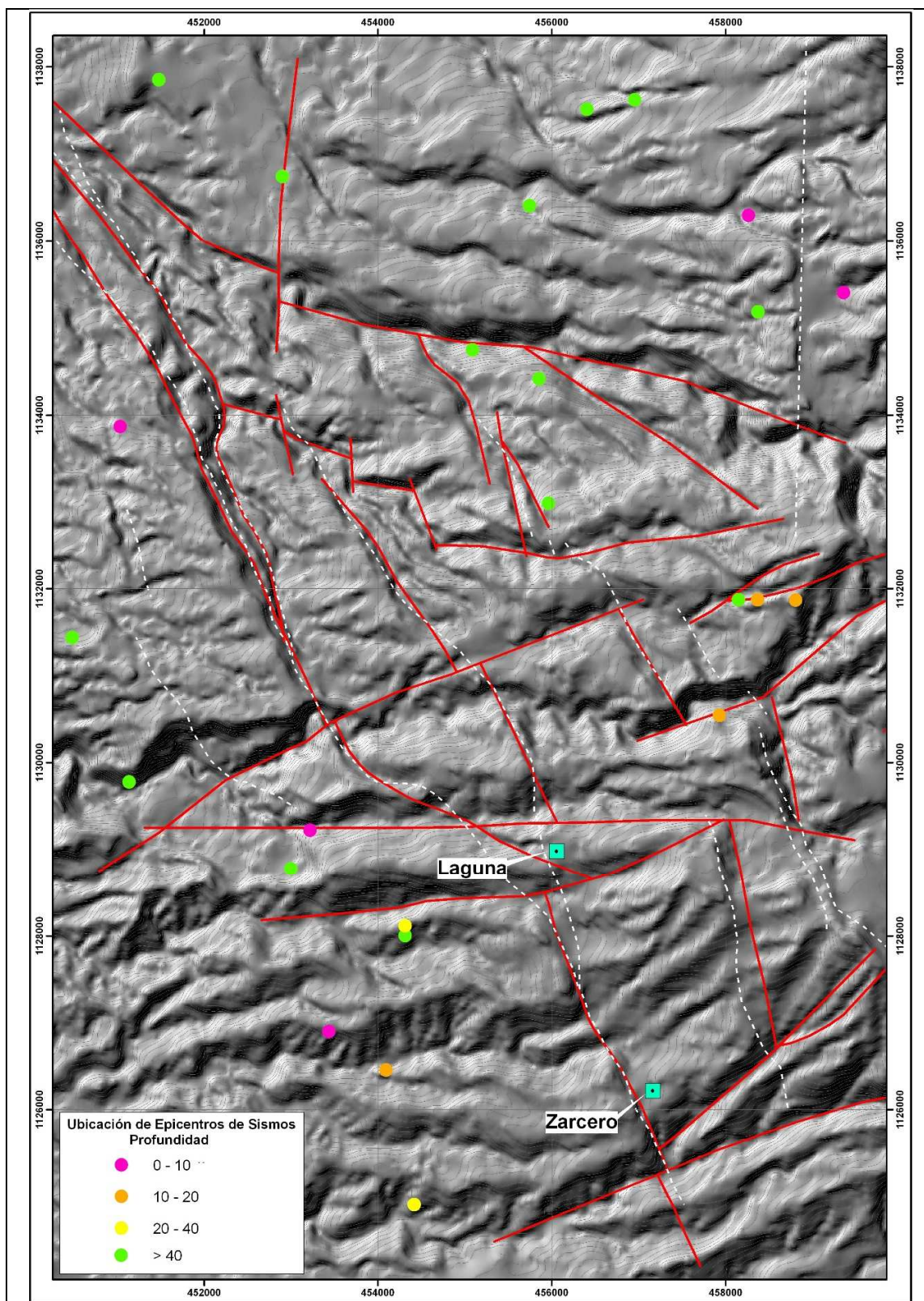


Fig. 5.10. Localización de epicentros de sismos registrados por la Red Sismológica Nacional desde el año 1997. Sismos ordenados por profundidad en Kilómetros.

En consideración de ello, desde el mes de noviembre del 2013, como parte del segundo informe de avance, el autor comunicó a la CNE la selección de 5 sitios para la realización de igual número de trincheras en el área de estudio.

En razón de que los sitios de excavación de las trincheras eran propiedades privadas, en colaboración con la Municipalidad de Zarcero, se procedió a contactar con los propietarios de esos terrenos a fin de solicitar los respectivos permisos.

La totalidad de los propietarios, en primera instancia se negó a dar la autorización para la excavación de las trincheras. Ello a pesar de que a instancias de la Municipalidad de Zarcero, a principios del mes de diciembre se realizó una reunión técnica para explicar la importancia del trabajo a realizar en las trincheras.

Con posterioridad a esto nuevamente se les envió a los propietarios una nota en la que se recalca la importancia de realizar las trincheras y se solicitaba nuevamente la autorización para la construcción de las mismas. Se incluía, además, el compromiso de restaurar el sitio a sus condiciones originales y también, indemnizar el costo de los cultivos que pudieran ser afectados. A dicha nota no se obtuvo respuesta.

Para el mes de enero del 2014, por intermediación de Vice Alcaldesa de la Municipalidad de Zarcero y el cura párroco de la Ciudad se visitó a tres de los propietarios para conversar nuevamente sobre la posibilidad de que se pudiera dar el permiso respectivo para construir las trincheras. Finalmente dos de ellos accedieron.

Como complemento a la construcción de las dos trincheras que fue posible construir, también con el apoyo de la Municipalidad de Zarcero, se obtuvo el permiso del propietario del tajo que se encuentra al noroeste de la Ciudad, a fin de poder realizar un estudio geológico más detallado de las paredes del mismo. Finalmente, luego de un trabajo de limpieza muy exhaustivo, se obtuvo un afloramiento muy importante, incluso más valioso que una trinchera (por sus dimensiones) y que aportó una valiosísima información sobre la Falla Zarcero.

Es importante aclarar que los detalles de todo este proceso que llevó hasta lograr el permiso de dos propietarios para construir las terrazas están documentados en los informes de avance 2 y 3 que el autor entregó a la CNE en noviembre del 2013 y enero del 2014, respectivamente. En consideración de ello, aparte del presente resumen, no se hace mayor referencia en este documento.

La explicación para la situación sucedida en este caso, tiene sustento, muy probablemente, en lo ya mencionado previamente respecto a que desde hace algunos años un grupo de vecinos se ha manifestado disconforme con el hecho de que la Municipalidad estableciera restricciones al uso del suelo en la zona de seguridad de la Falla Zarcero.

5.7.2 Localización inicial de trincheras

Para el mes de noviembre del 2013, a partir de los trabajos realizados hasta ese momento, y en consideración de la información de geología, geomorfología, del Modelo Digital del Terreno y de fotointerpretación, así como de la información técnica de estudio previos, fue posible precisar la localización de la traza de la Falla Zarcero para el área de estudio y con ello, la elaboración de la propuesta de las 5 trincheras de investigación que originalmente se plantearon.

En la Figura 5.11 se presenta el mapa de la traza de la Falla Zarcero y de las fallas geológicas asociadas.

Como parte de la Figura 5.11 se indica la zona de seguridad de 50 metros a ambos lados de la traza de la Falla que ha aplicado la Municipalidad de Zarcero para restringir el uso del suelo, según lo establecido en el Decreto Ejecutivo No. 32967 – MINAE.

Como se puede observar de la Figura 5.11, en lo que respecta al área de estudio, gran parte de la Traza de la Falla Zarcero tiene una fuerte coincidencia con la traza de la falla identificada por el estudio de la UCR (Rojas – Araya, 2011).

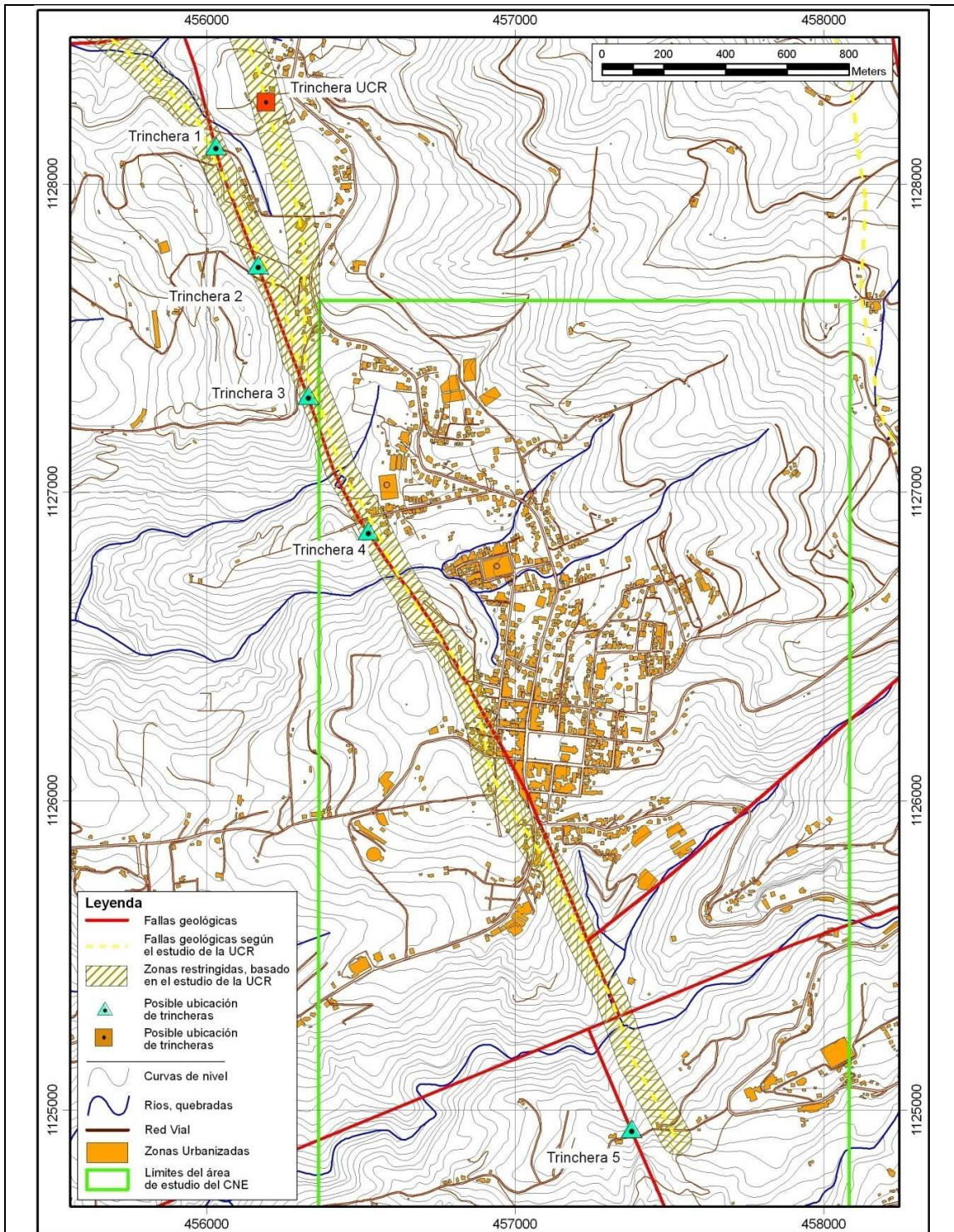


Fig. 5.11. Localización de la falla geológica de Zarcero, con su respectiva zona de seguridad y otras estructuras (alineamientos) asociados. Se indica además, la localización de las 5 trincheras propuestas y la trincheras realizada por el estudio de la Universidad de Costa Rica como parte del estudio de Rojas – Araya (2011). Nótese que la trincheras de la UCR se localiza en un “ramal” de la Falla Zarcero, y sobre la traza de la falla principal.

La única diferencia se presenta en el sector sur del área de estudio, donde de acuerdo a la interpretación realizada, un alineamiento estructural (potencial falla geológica) de rumbo SO - NE, segmenta o releva la Falla Zarcero, con un desplazamiento de aproximadamente 200 metros de su traza.

En el resto del área de estudio y a partir de la confirmación de la traza de la Falla Zarcero (con algunos pequeños ajustes de la traza original, ver Figura 5.11) se establecieron 5 sitios para la realización de trincheras. Dichos sitios se indican en el mapa de la Figura 5.11 con triángulos y su respectiva numeración.

En la Tabla 5.2 se resumen los principales lineamientos establecidos como parte del trabajo a realizar con las trincheras.

Como se mencionó previamente, pese a la gestiones realizadas con los propietarios de los terrenos de las 5 sitios seleccionados (ver Tabla 5.3), no fue posible, en primera instancia, obtener los permisos respectivos para la realización de esas cinco trincheras.

Ante esta situación, se procedió a buscar una solución alternativa, como fue la revisión más sistemática de la investigación de datos de afloramientos de suelo en el área de paso de la traza de la falla y además, seguir insistiendo en la solicitud de permisos para realizar algunas trincheras.

5.7.3 Localización de trincheras y otras fuentes de información alternativas

Como se explicó previamente, ante las dificultades para poder realizar las 5 trincheras originalmente planteadas (ver Figura 5.11) se estableció una solución alternativa. Dicha solución incluía el trabajo con la pared del Tajo que se localiza al noreste de la Ciudad de Zarcero y de dos trincheras (A y B) en las que si fue posible obtener el permiso de los propietarios, así como dos afloramientos de corte de carretera que fueron sistemáticamente limpiados para poder observar con detalle. En la Figura 5.12 se presenta la localización de esos otros sitios alternativos.

Tabla 5.2
Principales lineamientos para el trabajo con las trincheras

No.	LINEAMIENTO
1.	La ubicación más precisa de las trincheras se realizará directamente en el campo.
2.	Las trincheras deberán tener una extensión aproximada de 40 a 50 metros, un ancho mínimo de 1.5 metros una profundidad de 2 a 3 metros.
3.	Las trincheras serán excavadas la maquinaria apropiada por parte de la Municipalidad de Zarceró y se deberá contar el debido permiso de los propietarios de los terrenos en caso de que los mismos no pertenezcan a la Municipalidad de Valverde Vega.
4.	La municipalidad de Zarceró, será la encargada de tramitar el permiso de ingreso a las propiedades privadas.
5.	Una vez realizados los estudios en la trinchera, el equipo que excavó la misma deberá proceder a rellenarla a fin de dejar el terreno conformado.
6.	Las trincheras deberán estar abiertas solo el tiempo estrictamente necesario.
7.	Bajo ninguna circunstancia las trincheras deberán quedar abiertas.
8.	Disponibilidad de tiempo real; el tiempo laboral del personal, equipos, será el que se establece por ley, el mismo pertenece al Municipio y debe apegarse a sus propios reglamentos. El cartel considera ampliar el plazo del trabajo si por razones climáticas se presentan algunos imprevistos (apartado 3.2.1.14, segundo párrafo).
9.	Las trincheras se localizarán según criterio geológico y geomorfológico, de la forma más equidistante posible y de forma equilibrada con la posibilidad real de excavar las mismas, según las condiciones geomorfológicas, de tipo de suelo o de cobertura vegetal presente, así como de las limitaciones que puedan presentarse por asuntos de propiedad privada.
10.	En el caso de que, por situaciones imponderables, no sea posible la excavación de una o varias de las trincheras programadas, se utilizará como elemento sustitutivo, criterios geomorfológicos, neotectónicos y geológicos de campo, en particular en cortes en afloramientos naturales o artificiales (cortes de caminos, tajos, etc.) a fin de completar de la manera más precisa posible la información neotectónica.
11.	Referente las dataciones señaladas en las trincheras están se realizarían a fin de reforzar los datos de observación directa obtenidos en las trincheras y eventualmente para dilucidar dudas que puedan haberse generado. No obstante, el número de las mismas se ajustará a los resultados que se obtengan directamente en las trincheras, en particular cuando la observación de las mismas, resulte evidente y haga que la datación solo sea comprobatoria.

Fuente: Oferta de servicios Licitación Abreviada No. 2013 - 000015 - 00200.

Tabla 5.3

Datos de los propietarios de los terrenos de las diferentes trincheras y algunas observaciones sobre las mismas

TRINCHERA No.	PROPIETARIO	USO DEL SUELO DE LA TRINCHERA	GESTIÓN REALIZADA
1	Henri Paniagua	Cultivo de remolachas	Se solicitó permiso para realizar trinchera. El Sr. Paniagua señaló que tenía que consultarlo con otras personas. Se ofreció pagar el costo del cultivo que sería impactado y que máximo en tres días el terreno sería restaurado. Finalmente después de varias llamadas no dio ninguna respuesta.
2	Ana Isabel Blanco y Johnny Arguello	Cultivo de arracache	Se conversó tanto con la Sra. Blanco como con el Sr. Arguello, no obstante, al final de la explicación el Sr. Arguello señaló que él no autorizaba la realización de la trinchera. En este caso, también se ofreció pagar el costo del cultivo que sería impactado y que máximo en tres días el terreno sería restaurado.
3.	No se conoce	Se trata de un terreno de mucha pendiente	Este sitio se descartó dado que por la condición de pendiente existente haría muy difícil y peligroso la realización de la excavación.
4.	Esperanza Araya Brenes	Sin cultivo	Se conversó con una hija de la Sra. Araya y luego de una explicación sobre el objetivo del trabajo ella señaló que tenía que conversarlo con otras personas. También se ofreció pagar el costo del cultivo que sería impactado y que máximo en tres días el terreno sería restaurado. Finalmente cuando se le volvió a consultar indicó que no se autorizaría la realización de la trinchera.
5.	Jaime Rojas Jonathan Araya	Cultivo de cebolla	Se conversó primero con el Sr. Rojas quien indicó que debía coordinarse con el Sr. Araya, a quien también se contactó. El señor Araya indicó que tenía que conversarlo con otras personas. Se ofreció pagar el costo del cultivo que sería impactado y que máximo en tres días el terreno sería restaurado. Posteriormente después de varias llamadas no fue posible contactarlo

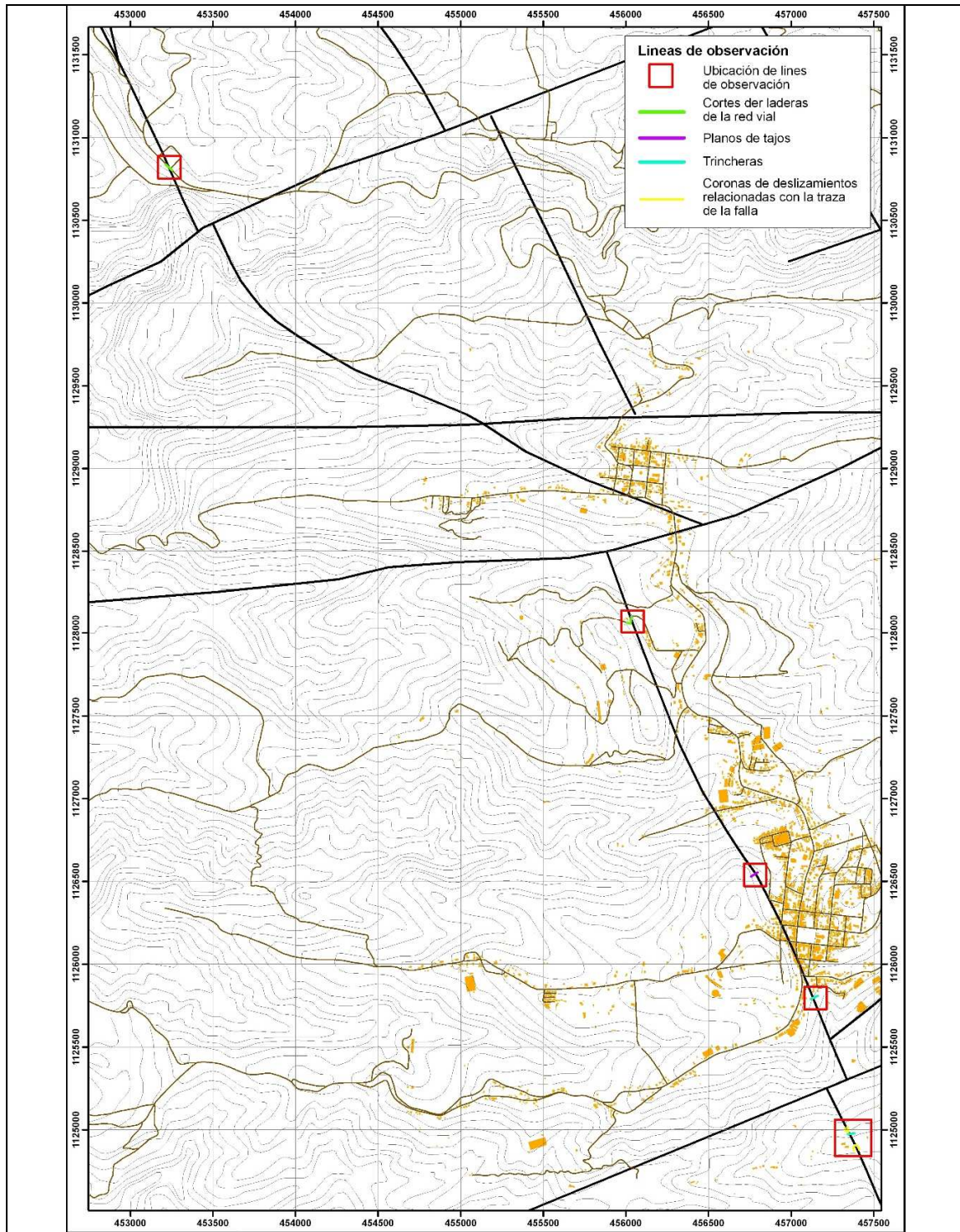


Fig. 5.12. Localización de fuentes de información alternativa al desarrollo de las 5 trincheras originalmente propuestas y que se indican en la Figura 5.11. Se incluyen como parte de estas dos trincheras (A y B) y el tajo del Tajo (ver Figura 5.13) y dos cortes de carretera que se procedió a limpiar.

En la Figura 5.13 se presenta una fotografía aérea del área de estudio, con la localización de las dos trincheras (A y B) que fue posible excavar y además la ubicación de la pared del tajo que también se analizó como fuente alterna de información paleosísmica.

En las secciones siguientes se presentan los resultados de los análisis de esas fuentes de información.

5.7.4 Trincheras A

En la Figura 5.14 se presenta la localización del terreno del señor Andrés Solís quien amablemente estuvo anuente a que se pudiera excavar una trinchera en el mismo.

En la Figura 5.15 se presenta una fotografía de la trinchera de cerca de 45 metros que se escavó en un periodo de dos días durante el mes de febrero del 2014.

Es importante aclarar que dada la topografía del terreno, se le dio un ancho de aproximadamente 1 metro, que fue suficiente para realizar el estudio técnico planteado.

Como parte del estudio técnico de paleosismicidad que se realizó, una vez excavada la trinchera, se procedió a su revisión sistemática y la elaboración de un perfil interpretativo de la misma. En la Figura 5.16 se presenta el perfil geológico interpretativo de la trinchera A.

Bajo un suelo residual, limo arcilloso de color café oscuro, de aproximadamente 1 metro de espesor, se encontró una pequeña sucesión de capas, conformadas por (de arriba hacia abajo): cenizas subrecientes (limo arcillosas), cenizas arenosas de color marrón, cenizas limo arcillosas y un peleosuelo que se identificó en el sector oeste de la trinchera.

La revisión detalla de la Trincheras A permite afirmar que no se encontró a lo largo de la misma, evidencia concreta de la existencia de ruptura en superficie por fallamiento geológico activo.



Fig. 5.13. Ubicación de las dos trincheras alternativas (A y B), así como la Pared del Tajo localizado al noroeste de la Ciudad de Zarcero y en las cuales si fue posible realizar el estudio de paleosismicidad dentro del área de estudio.

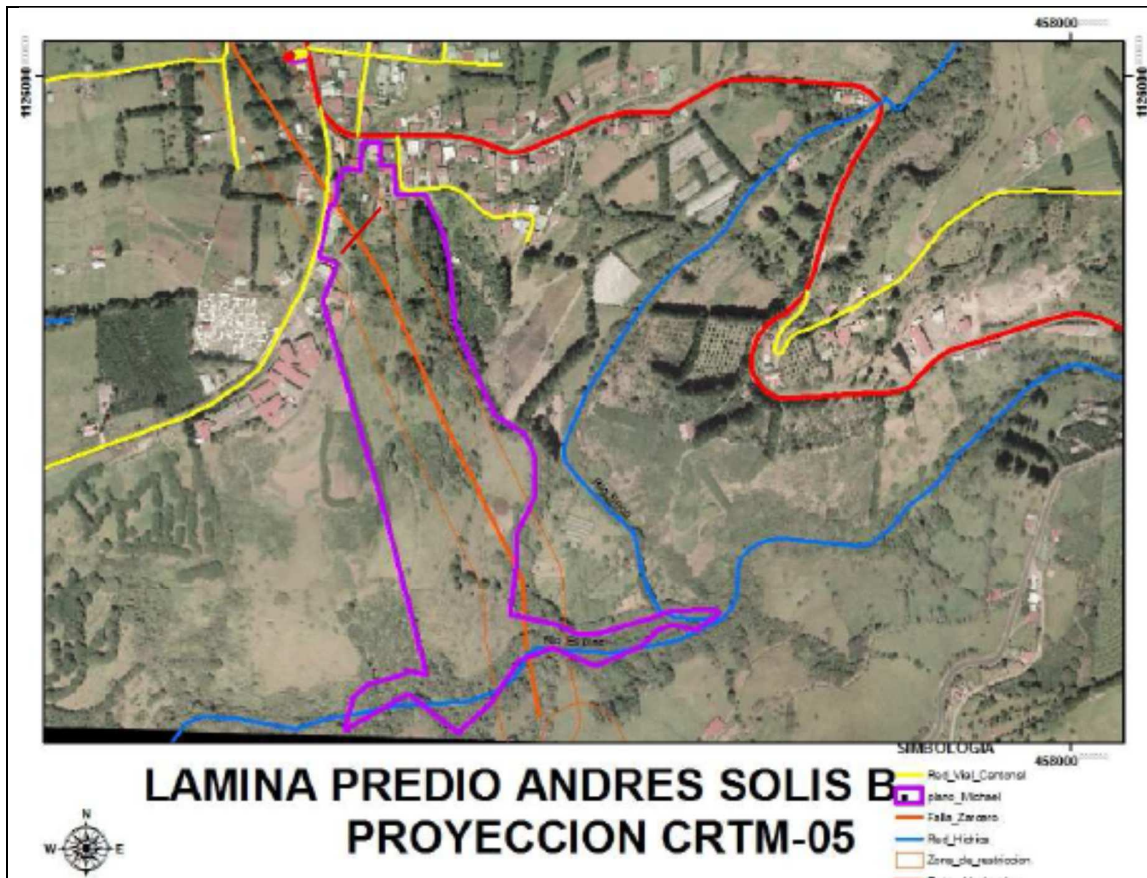


Fig. 5.14. Finca del señor Andrés Solís (marco de color morado), con la localización de la traza de la falla geológica y la zona de seguridad de 50 metros (líneas naranjas). Se indica con una línea roja, la ubicación de la Trinchera A que fue desarrollada en el terreno.

Como se puede observar en el perfil de la Figura 5.16 hacia el sector oeste de la trinchera, coincidiendo que el trazo de la Falla Zarcero, se identificó una pequeña grieta vertical rellena de suelo. Dicha grieta tiene una longitud aproximada de 1 metro y un ancho de 10 mm, no obstante, la misma no tiene continuidad hacia arriba o hacia abajo del perfil.

El criterio de esta pequeña grieta, por su falta de continuidad y ausencia de movimiento evidente de las capas entre sí, no se consideró como concluyente para la interpretación de la actividad reciente de la Falla Zarcero (ver adelante).



Fig. 5.15. Trinchera A, abierta en el terreno del señor Andrés Solís, localizada al sur de la Ciudad de Zarcero (ver Figura 5.13 para ubicación).

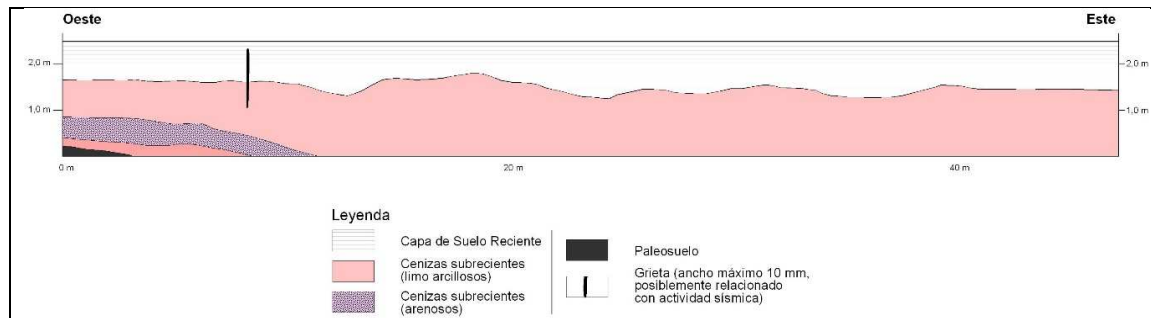


Fig. 5.16. Perfil interpretativo de los materiales geológicos presentes en la Trinchera A. Por debajo de una capa de suelo residual de aproximadamente 1 metro de espesor se encontraron tres capas de cenizas volcánicas arcillosas, arenosas, así como un paleosuelo. No se encontraron evidencias concretas de presencia de ruptura en superficie por fallamiento geológico, salvo una pequeña grieta de cerca de 1 metro de longitud y 10 mm de ancho que coincide de forma bastante aproximada con la trazo de la Falla Zarcero. El criterio de esta pequeña grieta, por su falta de continuidad y ausencia de movimiento evidente de las capas entre sí, no se consideró como concluyente para la interpretación de la actividad reciente de la Falla Zarcero (ver adelante).

5.7.5 Trinchera B

En la Figura 5.17 se presenta una fotografía de la excavación de la Trinchera B. Por su parte, en el mapa de la Figura 5.18 se indica la localización de la Trinchera B, así como dos rasgos morfológicos recientes e importantes por su alineamiento con la traza de la Falla Zarcero. Se trata de una cárcava que se presenta al norte de la trinchera y una corona de erosión (deslizamiento) que se localiza al sur de la trinchera (ver figuras 5.18 – 5.20).

Esas dos unidades geomorfológicas se destacan en la medida de que están alineadas con la traza de la Falla Zarcero, muestran que se trata de una zona “debilidad” vulnerable a procesos de erosión. No obstante, debe quedar claro que eso no representa necesariamente que la falla genere ruptura en superficie.



Fig. 5.17. Trinchera B, abierta en el terreno del señor Jaime Rojas, localizada aproximadamente a 2 Km al sur de la Ciudad de Zarcero (ver Figura 5.13 para ubicación).

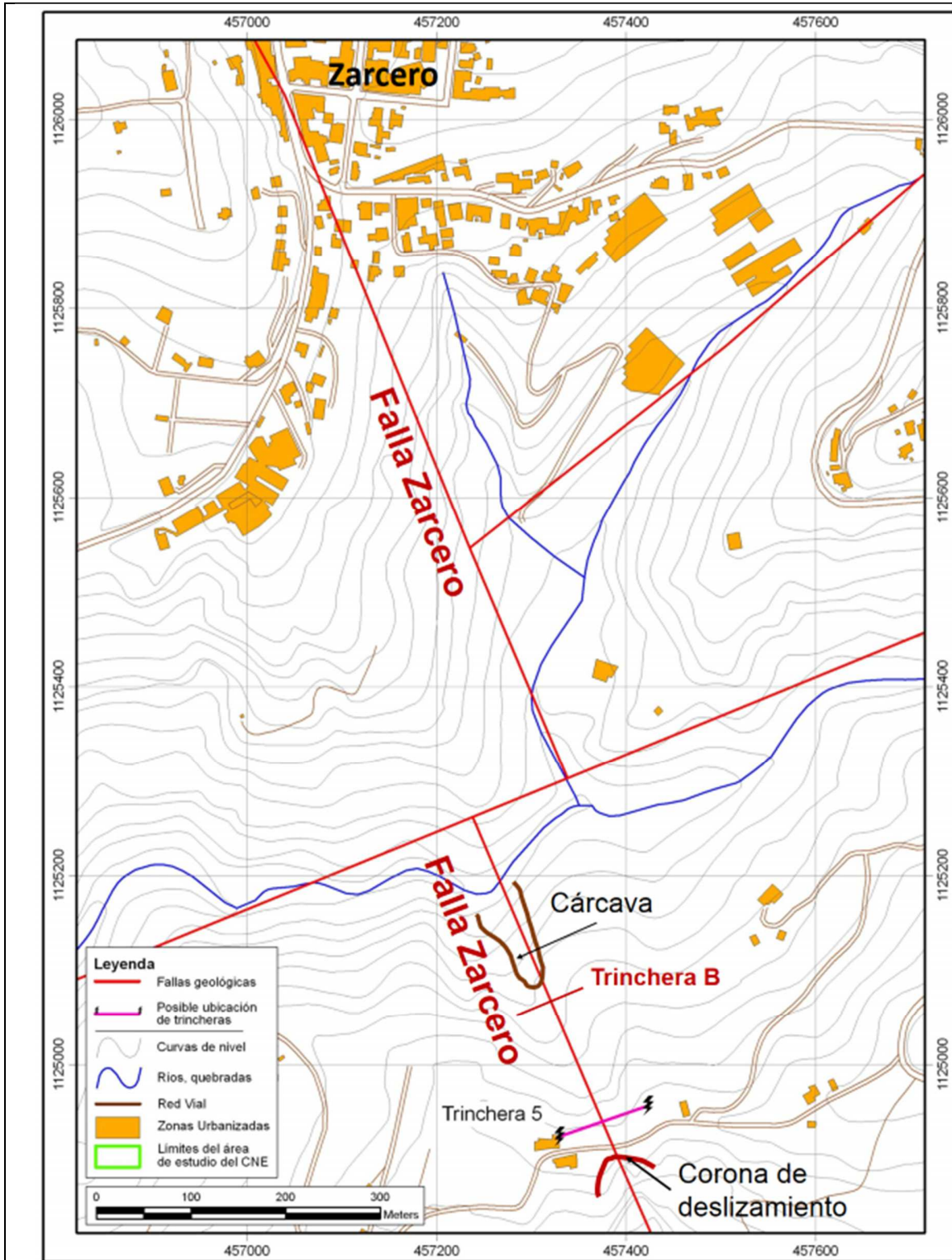


Fig. 5.18. Trinchera B, abierta en el terreno del señor Jaime Rojas, localizada aproximadamente a 2 Km al sur de la Ciudad de Zarcero (ver Figura 5.13 para ubicación).



Fig. 5.19.
Vista de la
cárcava al
norte de la
Trinchera
B (ver
Figura
5.18).



Fig. 5.20.
Vista de
la corona
de
erosión al
sur de la
Trinchera
B (ver
Figura
5.18).

En la Trinchera B, al igual para que para la Trinchera A, se realizó una revisión sistemática de sus paredes.

En este caso se encontró que la totalidad de la trinchera de 30 metros de longitud y de 2 metros de altura, se componía de depósitos de cenizas volcánicas arenosas y que, además, no se presentaba evidencia alguna de fracturas o grietas que indicaran indicios de una eventual ruptura en superficie por fallamiento geológico.

Dada la monotonía del material encontrado en esta Trinchera B, no se consideró necesaria la presentación del perfil correspondiente.

5.7.5 Pared del Tajo

De acuerdo a los datos de interpretación del Modelo Digital del Terreno realizados en el presente estudio y también, de conformidad con el estudio de Montero (2009) y Rojas - Araya (2011) la traza de la Falla Zarcero atraviesa el Tajo que se encuentra al noroeste de la Ciudad de Zarcero (ver Figura 5.13).

Producto de lo anterior, y dadas las circunstancias previamente explicadas sobre la no autorización para la realización de algunas de las trincheras se procedió a realizar una revisión exhaustiva de las paredes del tajo.

En la Figura 5.21 se presenta una fotografía panorámica del Tajo. En la flecha roja se muestra una estructura de discontinuidad litológica que en primera instancia podría dar la idea de que se relaciona con el plano de la Falla Zarcero. No obstante, cuando se revisó en detalle el afloramiento se nota que se trata de una estructura de relleno volcánico asociado a la presencia de un centro de emisión secundario y depositación de material piroclástico.

Por medio de GPS se procedió a revisar con detalle el paso de la traza de la falla en el tajo y se localizó una pared por donde, según el Modelo Digital de Terreno previamente elaborado, debería pasar el trazo de la Falla. Dicha pared, con el apoyo de equipo de la Municipalidad de Zarcero, se procedió a limpiar a fin de poder realizar un análisis concienzudo de la misma (ver Figura 5.22).



Fig. 5.21. Vista general del tajo localizado al noroeste de la Ciudad de Zarcero. Aunque en primera instancia podría pensarse que la estructura señalada con la flecha roja podría asociarse con la Falla Zarcero, no es así. Se trata de una estructura volcánica cuya orientación presenta un ángulo bastante diferente al rumbo de la traza de la Falla.

Con la limpieza cuidadosa de la parte inferior de la pared fue posible identificar con el plano de una falla geológica cuyo rumbo es coincidente con la traza de la Falla Zarcero.

En la Figura 5.23 se presenta la panorámica de la pared del tajo, cuya parte inferior fue objeto de limpieza con maquinaria. Como se puede observar, en dicho sector inferior, se presenta el plano de la Falla Zarcero.

El recuadro superior de la fotografía de la Figura 5.23 indica la segunda área de limpieza que se programó a fin de verificar la continuidad del plano de falla hacia la parte superior de la sucesión estratigráfica volcánica presente en el tajo.



Fig. 5.22. *Proceso de limpieza de las paredes del Tajo donde según la interpretación del Modelo Digital del Terreno pasa la traza de la Falla Zarcero atravesando el área del Tajo.*



Fig. 5.23. Identificación de la Falla Zarcero en la pared del tajo una vez que la misma se limpió. El recuadro de la parte superior muestra una segunda sección que fue limpiada para dar seguimiento al plano de la falla geológica.

En la Figura 5.24 se muestra un detalle de la parte superior de la pared una vez que se realizó la limpieza de manera manual.

El análisis de esta sección de la pared indica que en su parte inferior se presenta el plano de falla, no obstante a partir de los primeros 70 centímetros, se presenta un contacto a partir del cual se presenta un relativamente espeso paquete de cenizas volcánicas alteradas (color marrón), similar a las que se encontraron en las trincheras A y B previamente descritas.

Lo más importante de este afloramiento es que se evidencia con total claridad que el plano de la falla geológica no afecta a dicha capa de cenizas volcánicas subrecientes, cuyo espesor en el sitio del tajo, es de aproximadamente 6 metros (ver Figura 5.24). Este material fue objeto de colecta de muestras para posible datación radiométrica con Carbono 14. Pese a esto, no fue posible obtener material susceptible de ser objeto de datación.



Fig. 5.24. Detalle del paredón de la parte superior del afloramiento en el Tajo (ver Figura 5.23). En la parte que se indica se todavía se observa el plano de la falla, sin embargo, el mismo no continúa hacia los depósitos de ceniza de la parte superior.

Finalmente, a modo de síntesis interpretativa, en la Figura 5.25 se presenta la interpretación geológica y neotectónica de la pared completa del tajo. Como se puede observar queda claramente evidenciado el plano de falla, que tiene un ángulo mayor a los 70° , con un rechazo observable de 1 metro y una componente aparentemente inversa, aunque es altamente probable que la componente de desplazamiento de rumbo sea mucho más significativa.

El hecho de que las capas de ceniza subreciente no estén afectados por la falla, además de corroborar lo observado en las trincheras A y B, y otros afloramientos, confirma que la Falla Zarcero no genera ruptura en superficie reciente. Además de ello, se evidencia que la falla está representada por un único plano de un muy bajo grosor.



Fig. 5.25. Interpretación del afloramiento del tajo donde aparece la Falla Zarcero, una vez que se ha limpiado la sección superior (ver Figura 5.23). Se observa con claridad que la falla NO AFECTA la capa de cenizas volcánicas subrecientes, tal y como se observó en las trincheras y otros afloramientos del área de estudio.

5.7.6 Otros afloramientos

En el mapa de la Figura 5.26 se indica la ubicación de las dos trincheras realizadas (A y B), así como la pared del Tajo. Además se dos afloramientos adicionales que fueron objeto de análisis neotectónico.

Se trata de taludes de corte que se presentan a lo largo de la carretera que comunica la Ciudad de Zarcero con Ciudad Quesada. Al igual que se hizo con la pared del tajo, por medio de GPS se localizaron dichos taludes de corte, según el trazo de la falla geológica en el Modelo Digital de Terreno.

Una vez identificadas las paredes, y con la ayuda de personal de la Municipalidad de Zarcero, se procedió a realizar una cuidadosa y detalla limpieza de dichas paredes.

Los resultados obtenidos para ambos afloramientos fueron similares a lo que se encontró en las trincheras y en la parte superior de la pared del tajo, es decir, que se presentaban espesores de 3 a 4 metros de cenizas volcánicas alteradas en la que no se evidenciaba de modo alguno la presencia de ruptura en superficie por fallamiento geológico.

Es importante señalar que el estudio realizado por Rojas – Araya (2011), señalan que *“los resultados de la datación de Carbono 14 para la muestra TrZ01mcarb01 tomada de uno de los horizontes de piroclastos más superficiales afectados por la falla, indica una edad convencional de 2030 +/- 40 BP (Holoceno)”*.

Esos materiales piroclásticos tienen correspondencia estratigráfica con las capas de cenizas volcánicas identificadas en la trincheras aquí analizadas, incluyendo el área del tajo (ver atrás), razón por la cual es posible afirmar, que como mínimo, el ramal “derecho” de la Falla Zarcero tuvo su última actividad hace 2000 años. Ese dato, siguiendo criterios estratigráficos, es extrapolable al resto de la traza de la Falla Zarcero, para el segmento correspondiente al área de estudio. Aspecto que se toma en cuenta, junto con otros factores, como el grosor de la zona de ruptura, para realizar la caracterización neotectónica de la Falla Zarcero.

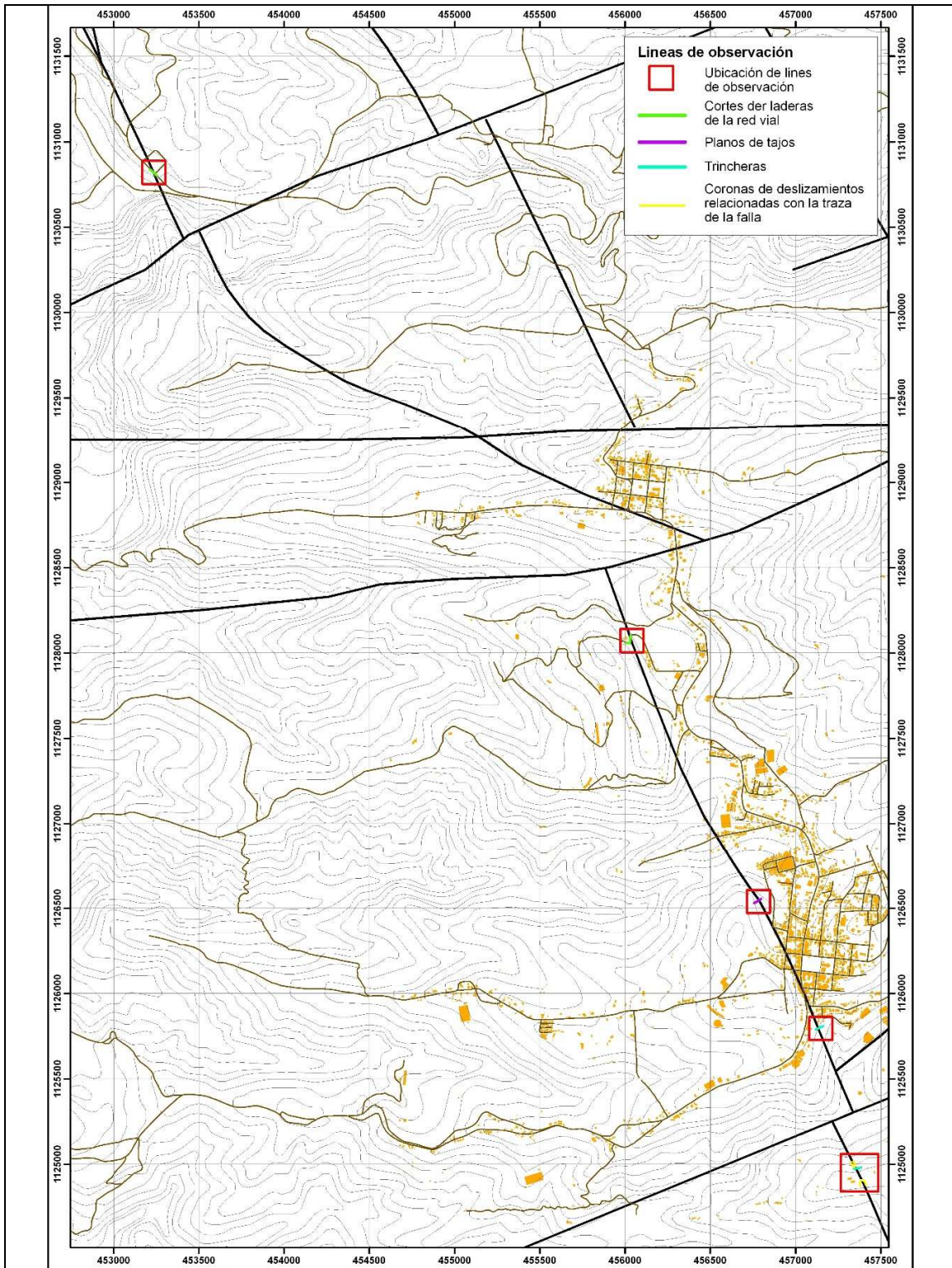


Fig. 5.26. Localización de trincheras A, B y pared del tajo, así como de otros afloramientos seleccionados y que fueron limpiados para su evaluación neotectónica.

5.8 CARACTERIZACIÓN NEOTECTÓNICA DE LA FALLA ZARCERO

5.8.1 Síntesis de resultados

De conformidad con lo analizado de forma previa en este documento, la caracterización neotectónica de la Falla Zarcero se resume de la siguiente forma:

1. Corresponde con una falla geológica Cuaternaria (Pleistoceno Superior) de relativa gran extensión de cerca de 30 Km de longitud y de orientación NNW- SSE.
2. Forma parte de un patrón de fallamiento geológico que corta la Cordillera Volcánica Central en varias secciones.
3. En caso del sector de Zarcero y alrededores se pudo confirmar que la Falla Zarcero es interrumpida o segmentada por otra serie de lineamientos estructurales ortogonales, de manera que para el área de estudio, el segmento de la falla que se presenta inmediatamente al oeste de la Ciudad de Zarcero tiene una extensión de 2.4 Km de longitud.
4. Los datos de las trincheras A y B excavadas en el área de estudio, así como de la pared del Tajo y otros afloramientos analizados con taludes de corte de la carretera, permiten concluir que la Falla Zarcero, para el espacio geográfico analizado, no presenta evidencia reciente de ruptura en superficie (al menos los últimos 2 mil años). Esto en razón de que no se encontraron pruebas significativas que demostraran que la capa de cenizas volcánicas subrecientes que forman parte del subsuelo superior y suelo del área de estudio, estén afectadas por algún tipo de ruptura originada por la Falla Geológica Zarcero.
5. El extraordinario afloramiento de la pared del Tajo, que tiene una altura de cerca de 20 metros, con lo cual se supera la capacidad de observación desde una trinchera, pone en evidencia que la Falla Zarcero corresponde con una falla de desplazamiento de rumbo, de alto ángulo y con una posible componente inversa que tiene un rechazo vertical de 1 metro.

6. De esta manera la Falla Zarcero se califica como una falla geológica activa (con actividad en Holoceno), pero que al menos para el segmento analizado en el área de estudio, no tiene manifestación directa y evidente de ruptura en superficie, razón por la cual y en cumplimiento de lo establecido en el Decreto Ejecutivo No. 32967 – MINAE, se procede a reducir la zona de seguridad a una franja de 10 metros a ambos lados de la traza de la falla precisada en este estudio, por medio de un Modelo Digital de Terreno realizado a escala 1:5.000.

En las figuras 5.27 y 5.28 se presenta la traza de falla definitiva y la zona de seguridad reducida según los criterios técnicos aquí expuestos.

5.8.2 Valoración de certidumbre y Ficha Técnica

Tomando en cuenta los datos procesados para la falla y en cumplimiento del Protocolo Técnico para fallas geológicas del decreto ejecutivo no. 32967 - MINAE, ha sido posible realizar la valoración de certidumbre de misma, la cual se presenta en la Tabla No. 5.4.

Tabla 5.4
Calificación de la certidumbre sobre de la Falla Zarcero en el área de estudio

Valores →	Muy Alto	Alto	Moderado	Bajo	Muy Bajo
Criterios y sus pesos ↓	(5)	(4)	(3)	(2)	(1)
De fotointerpretación (5)	28				
Geológicos (6)		28			
Geomorfológicos (6)		27			
Topográficos (5)		22			
Sismológicos (5)			15		
Geofísicos (6)	-	-	-	-	-
Paleosismicidad (trincheras y otros) (8)		35			
Sumatoria ¹ :		155			
Resultado final²:	175 – 205	150 - 175	120 – 150	80 – 120	> 80

Fuente: Anexo 2 del Decreto Ejecutivo 32967 – MINAE.

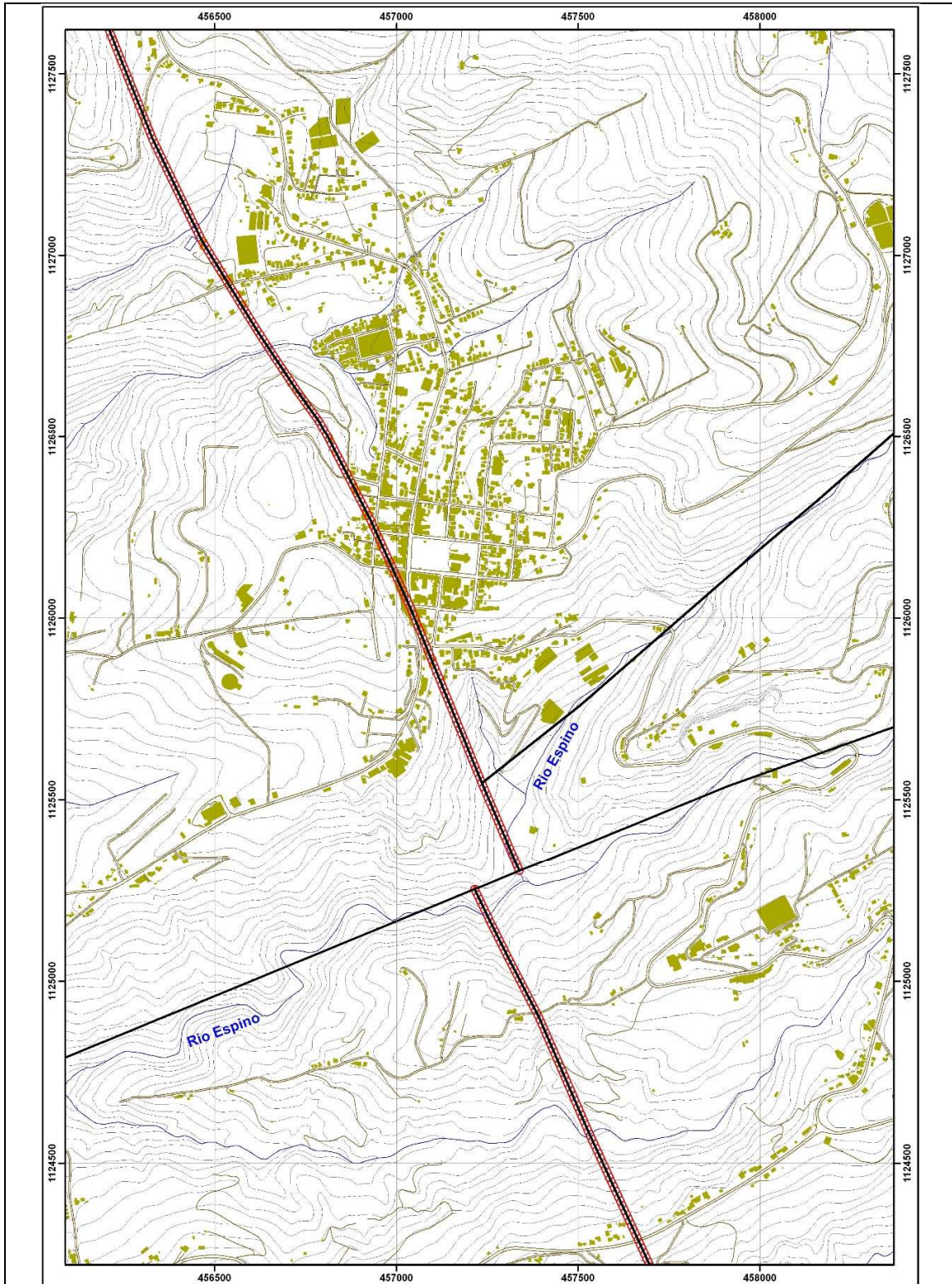


Fig. 5.27. Traza de la Falla Zarcero según los resultados del presente estudio y zona de seguridad reducida, a 10 metros a ambos lados de la traza indicada.



Fig. 5.28. Localización de la traza de la Falla Zarcero y de la zona de seguridad de 10 metros sobre las ortofotos del programa de Regularización y Catastro.

De acuerdo con la metodología establecida en el Protocolo para la Zonificación de Uso del Suelo sobre y en las cercanías de fallas geológicas activas, se concluye que el grado de certidumbre para la caracterización de la falla geológica analizada, según la información disponible y procesada, es de tipo ALTO, a partir de lo cual se considera aceptable la generación de recomendaciones técnicas.

La ficha técnica de la Falla Zarcero se presenta en el Adendum 1 de este estudio.

6. Conclusiones y recomendaciones (alcances sobre el uso del suelo)

8.1 CONCLUSIONES

Las conclusiones principales son las siguientes:

1. La Falla Zarcero es una falla geológica regional reconocida por diversos autores desde hace más de 20 años.
2. Se trata de una falla geológica de desplazamiento de rumbo que tiene una longitud aproximada de 30 Km y que se orienta en una dirección NNO – SSE.
3. La Falla Zarcero forma parte de un patrón de fallas geológicas similares que corta la cordillera Volcánica Central y separan los estratovolcanes de la misma.
4. La génesis de ese sistema de fallamiento geológico se vincula a patrones de esfuerzos tectónicos regionales que afectan la Cordillera Volcánica Central cuya edad es del Cuaternario, particularmente durante los últimos 500.000 años.
5. Para el área de estudio el desarrollo de un Modelo Digital de Terreno a una escala 1:5.000 permitió definir el trazo de la Falla Zarcero con mayor precisión.
6. Como complemento a la información del Modelo Digital del Terreno, información geológica, geomorfológica e hidrogeológica aportó información complementaria para apoyar la interpretación de la falla geológica Zarcero, así como otra serie de alineamientos geológicos asociadas.
7. Para el área de estudio (Zarcero y alrededores) fue posible comprobar que la Falla Zarcero es segmentada por una serie de lineamientos

estructurales, de manera que para el área de Zarcero el segmento de la Falla que lo afecta tiene una longitud de 2.5 Km.

8. El hecho de que la Falla Zarcero se presente segmentada y bifurcada, se interpreta como un elemento clave de disminuye su grado de amenaza, en la medida de que el movimiento a la largo de la falla se daría diferencialmente.
9. Los datos de paleosismicidad obtenidos por medio de dos trincheras (A y B), un extraordinario afloramiento de la falla en una de las paredes del Tajo localizado al noroeste de Zarcero y otros afloramientos permiten caracterizar neotectónicamente la Falla Zarcero.
10. Corresponde con una falla de desplazamiento de rumbo, de alto ángulo y con una posible componente inversa que tiene un rechazo vertical de 1 metro. Su desplazamiento horizontal es desconocido.
11. La Falla Zarcero, para el espacio geográfico analizado, no presenta evidencia reciente de ruptura en superficie. Esto en razón de que no se encontraron pruebas significativas que demostraran que la capa de cenizas volcánicas subrecientes que forman parte del subsuelo superior y suelo del área de estudio, estén afectadas por algún tipo de ruptura originada por la Falla Geológica Zarcero. La interpolación de información de dataciones de Carbono 14 realizados para el ramal noreste de la Falla Zarcero, indican que dicho ramal tuvo su última actividad hace 2000 años.
12. De esta manera la Falla Zarcero se califica como una falla geológica activa (con actividad en Holoceno), pero que al menos para el segmento analizado en el área de estudio, no tiene manifestación directa y evidente de ruptura en superficie, razón por la cual y en cumplimiento de lo establecido en el Decreto Ejecutivo No. 32967 – MINAE, se procede a reducir la zona de seguridad a una franja de 10 metros a ambos lados de la traza de la falla precisada en este estudio, por medio de un Modelo Digital de Terreno realizado a escala 1:5.000.

13. La valoración de certidumbre de los datos técnicos procesados para la interpretación neotectónica de la falla derivan en una calificación de tipo Alto, por lo que se considera que existe suficiente certeza para las conclusiones técnicas aquí expresadas.

8.2 RECOMENDACIONES (ALCANCE SOBRE EL USO DEL SUELO)

A partir de lo anteriormente expuesto, se derivan las siguientes recomendaciones técnicas **a la Municipalidad de Zarcero**:

1. Sustentado en el presente informe neotectónico de detalle y aplicable para el sector de Zarcero y alrededores, se debería proceder a reducir la zona de seguridad previamente establecida de 50 metros a ambos lados de la traza de la Falla, a 10 metros a ambos lados de la traza de la falla según los mapas generados en este estudio y los “shape” de los mismos.
2. Dentro de la zona de seguridad de 10 metros ni sobre la traza de la falla, en cumplimiento a lo señalado por el Decreto Ejecutivo No. 32967 – MINAE, podrán permitirse el desarrollo de “Obras de ocupación humana”, es decir, que impliquen la permanencia o residencia de seres humanos. No obstante, dentro de esta zona de seguridad si es posible el desarrollo de otro tipo de obras, tales como: áreas verdes, caminos, senderos, parques, bodegas, jardines, zonas de recreación al aire libre, edificaciones que no impliquen residencia de personas y estacionamientos,
3. La infraestructura estratégica definida por el Decreto Ejecutivo No. 32967 – MINAE, no deberán permitirse dentro de la zona seguridad señalada y una zona adicional de 40 metros a ambos lados de la traza de la falla. En todo caso, obras de este tipo que se localicen a menos de 200 metros de la traza de la Falla deberán ser objeto de un análisis neotectónico local y un estudio sísmológico que concluya sobre la viabilidad técnica de la obras a desarrollar según dichos temas.

4. Respecto a las edificaciones que ya se encuentran construidas dentro de la zona de seguridad de 10 metros y sobre la traza de la falla, deberá procederse de la siguiente manera:
 - a. Realizar un inventario de las mismas dentro del cantón de Zarcero, identificando el nombre de las familias o personas residentes.
 - b. Proceder a informar a las personas y familias que se encuentren en esa categoría sobre el hecho de que se encuentran en una zona de seguridad de falla geológica activa y que por tanto, deberán tomar medidas extras de seguridad en caso de actividad sísmica en la zona.
 - c. Como parte de las medidas extras de seguridad deberán contemplarse acciones concretas tales como:
 - i. Reforzamiento estructural de la obra.
 - ii. Identificación y señalización de las zonas de seguridad.
 - iii. Desarrollo de plan de emergencias, con un sistema de evacuación hacia las zonas de seguridad identificadas.
 - iv. Desarrollo de simulacros periódicos.
5. Respecto a los alrededores inmediatos del trazo de la falla y la zona de seguridad establecida, se deberá proceder a realizar un estudio técnico de estabilidad de ladera, de manera que genere una zonificación de amenaza a deslizamientos y procesos erosivos que se tome en cuenta al momento de tramitar usos del suelo a fin de que se consideren esos factores de riesgo al momento de diseñar nuevos proyectos o de establecer medidas de seguridad para actividades ya existentes.
6. Finalmente, en razón de que el afloramiento de la pared del tajo donde se presenta el afloramiento de la Falla Geológica Activa Zarcero, representa un sitio de gran valor geocientífico y tiene un gran potencial didáctico, se recomienda que se coordine con el propietario del terreno a fin de que el mismo no sea destruido como producto de la extracción minera que se realiza en el Tajo y que más bien sea conservado y

mantenido por la Municipalidad de Zarcero como un geositio de valor cultural y científico.

7. Referencias

- ALVARADO, G.** 2000: Volcanes de Costa Rica [2ª ed. corr. y aum.] San José, Costa Rica, EUNED, 284 págs.
- ALVARADO, G., MORALES, L.D., MONTERO, W., CLIMENT, A. & ROJAS, W.** (1988): Aspectos sismológicos y morfotectónicos en el extremo occidental de la Cordillera Volcánica Central de Costa Rica. *Rev. Geol. Am. Central*, 9: 75 - 98.
- ALVARADO, G. & CARR, M.** 1993: The Platanar-Aguas Zarcas volcanic centers, Costa Rica: spatial-temporal association of Quaternary calc-alkaline and alkaline volcanism. *Bulletin of Volcanology*. 55:443-453.
- ALVARADO, G.E. & GANS, P.B.**, 2012: Síntesis geomorfológica del magmatismo, metamorfismo y metalogenia de Costa Rica, América Central. *Rev. Geol. Amér. Central*, 46: 7 – 122.
- ALVARADO, G.**, 2000: Volcanes de Costa Rica. Editorial Uned, 270 p.
- ASTORGA, A. & CAMPOS, L.** (2001): El cartografiado de geoaptitud de terrenos. - *Rev. Geol. Amer. Central*, 24: 103-110, San José.
- ASTORGA, A.**, 1994: El Mesozoico del Sur de América Central: consecuencias para el origen y evolución de la Placa Caribe. *Profil* 7: 171-234.
- ASTORGA, A.**, 1997: El puente-Ístmico de América Central y la evolución de la Placa Caribe (con énfasis en el Mesozoico). *Profil* 12:1-201.
- ASTORGA, A., FERNANDEZ, J., BARBOZA, G., CAMPOS, L., OBANDO, J., AGUILAR, A., & OBANDO, L. G.**, 1989: Cuencas sedimentarias de Costa Rica: evolución Cretácico Superior-Cenozoico y Potencial de Hidrocarburos.-Symposium on the Energy and Mineral Potencial of the Central American and Caribbean Region, S.J.23p

- ASTORGA, A., FERNANDEZ, J., BARBOZA, G., CAMPOS, L., OBANDO, J., AGUILAR, A., & OBANDO, L.G.**, 1991: Cuencas sedimentarias de Costa Rica evolución geodinámica y potencial de hidrocarburos.- Rev. Geol. Amér. Central, 13: 25-59. S.J.
- BERGOEING, J.P.** 1998: Geomorfología de Costa Rica, Instituto Geográfico Nacional, San José, Costa Rica, 409 págs.
- BRYANT, W.A. & HART, E.W.** (2007): Fault - Rupture hazard zones in California. Alquist - Priolo Earthquake Fault Zoning Act with Index to Earthquake Fault Zones Maps. Department of Conservation, California Geological Survey, Special Publication 42, Interim Revision 2007.
- DENYER, P., MONTERO, W. & ALVARADO, G.** (2003): Atlas tectónico de Costa Rica. Editorial Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica, Serie Reportes Técnicos, 81 p.
- DENYER, P. & ARIAS, O.**, 1991: Estratigrafía de la región central de Costa Rica.- Rev. Geol. Amér. Central, 12:1-59.
- DMG** (1999): FAULT – RUPTURE HAZARD ZONES IN CALIFORNIA, Alquist – Priolo Earthquake Fault Zone Act with Index to Earthquake Fault Zones Maps. – Department of Conservation – Division of Mines and Geology Special Publication 42, Revised 1997, Supplements 1 and 2 added 1999 (<http://www.consrv.ca.go/dmg/>).
- DMG** (2004): RECOMMENDED CRITERIA FOR DELINEATING SEISMIC HAZARD ZONES IN CALIFORNIA. Department of Conservation – Division of Mines and Geology Special Publication 118. (<http://www.consrv.ca.go/dmg/>).
- DONELLY, T.**, 1994: The Caribbean Cretaceous basalt association: a vast igneous province that includes the Nicoya Complex of Costa Rica. Profil 7:17-46.
- MINAE** (1997): Mapa geológico de Costa Rica, escala 1:750:000. Instituto Geográfico Nacional de Costa Rica.

- MONTERO, W.** 2000: Sismología y Neotectónica.-en Geología de Costa Rica [1a ed.]. Editorial Tecnológica de Costa Rica. 515:219-239.
- MONTERO, W.** 2001: Neotectónica de la región central de Costa Rica. Frontera oeste de la microplaca Panamá. –Revista Geológica de América Central, 24:29-56.
- MONTERO, W.** (2009): La Falla Zarcero: ubicación, estado de conocimiento y estudios futuros. Documento Técnico para la Municipalidad de Zarcero, 3 p.
- MONTERO, W., CAMACHO, E., ESPINOZA, A. & BOSCHINI, I., 1994:** sismicidad & marco neotectónico de Costa Rica y Panamá.- Rev.Geol. Amér. Central,
- ROJAS-ARAYA, M.** (2011): Neotectónica del extremo occidental de la Cordillera Volcánica Central, enfocado en la Falla Zarcero, sector oeste del Complejo Volcánico Platanar - Porvenir. Tesis de Licenciatura, Universidad de Costa Rica, 95 p.
- ROJAS, W.** (2013): Sismos de los días 04 y 05 de agosto, 2013, al noreste de Zarcero. Informe Técnico Red Sismológica Nacional, 7 p.
- SINTON, C.W., DUNCAN, R.A. & DENYER, P., 1997:** Nicoya Peninsula: a single suite of Caribbean oceanic plateau magmas. Journal of Geophysical Research 102 (B/): 15507-15520.
- WILLIAMS, H., 1952:** Volcanic history of the meseta Central Occidental, CR.- Univ Calif. Publ. in Geol. Sciences 29 (4): 145-180.

Adendum 1

Nombre de la Falla: *Falla Zarcero*

Datos generales de la falla:

Tipo genético de falla	falla de movimientos complejos
Longitud de la falla (km):	30 km total (2.5 Km para segmento de Zarcero)
Dirección del buzamiento del plano de falla (acimut) (°):	70° (segmento en Zarcero)
Índice de fraccionamiento (0-3)	1
Rechazo vertical (m):	ap. 1 m (max) para segment en Zarcero
Rechazo horizontal (m):	nd

Criterios Geomorfológicos

→ Escarpe tectónico, contra-escarpe, límite de unidades geomorfológicas, límite de unidades de morfología costera, valles lineales, Desplazamiento de cauces de ríos, dorsal de presión, cuenca de origen tectónico entre otros

Criterio	Datos detallados	Expresividad
barranca lineal	long.: 2,0 km / alt.: 60 m	3
cauces de quebradas lineales	long.(Σ): 2 km (varios)	2
límite de unidades geomorfológicas	Cerros denudados /Formación Aguacate	2
escarpe tectónico	long.(Σ): 3 km / alt.: 60 m	2

Criterios Geológicos

→ Rechazo vertical/horizontal, zona milonítica, zonas de ruptura en la superficie, cambio del buzamiento/ inclinación, zonas de inestabilidad de laderas, manifestaciones hidrotermales entre otros

Criterio	Datos detallados	Expresividad
Rechazo vertical (m)	nd	-
zonas de inestabilidad de laderas		2

Criterios Hidrogeológicos

→ Naciente de agua relacionada al tramo de la falla, nacientes alineadas relacionadas al tramo de la falla, potencial aumentado de infiltración relacionado al tramo de la falla entre otros

Criterio	Datos detallados	Expresividad
Alineamiento de nacientes		2

Criterios de Sismicidad

→ Eventos sísmicos alineados, zona de alta actividad sísmica, discrepancia entre baja actividad sísmica y criterios pronunciados geológicos, geomorfológicos o hidrogeológicos

Criterio	Datos detallados	Expresividad
sísmicos alineados	n = 0	0
actividad sísmica	M _s :3,0(máx.)	0

Conclusiones:

<u>Clasificación de actividad:</u>	FALLA ACTIVA (Categoría C)
<u>Ancho de la zona con peligro de rupturas superficiales (m):</u>	10 m (máximo)
<u>Certidumbre de Datos (calidad de los datos accesibles):</u>	alto