

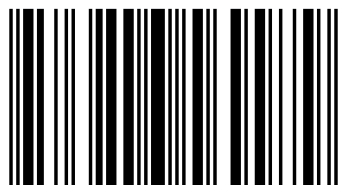
Peligro Sísmico en San Rafael del Sur, Managua-Nicaragua

El presente trabajo tiene como objetivo determinar el peligro sísmico asociado a fallas geológicas en un área al Noroeste de San Rafael del Sur, para la planificación física y uso del territorio, basado en revisiones bibliográficas, descripciones geológicas de campo y en el análisis sísmico histórico e instrumental con apoyo de Mapa Geológico y Topográfico a escala 1:50,000 del Municipio de San Rafael del Sur, fichas de datos técnicos, Sistema de Información Geográfica (ARcGis 9) y AutoCad 2004 para el tratamiento automático de la información. De acuerdo a los resultados obtenidos, se muestra una distribución espacial de epicentros en dirección SO -NE al Noroeste de San Rafael del Sur en un rango de 2.3 – 3.8 ML y profundidades entre 0 - 18.5 km con un 99.9% de que exceda cada año los 3°R. Todos los sismos, transversales a la zona de subducción con una extensión de 7km², se hallan asociado a falla laterales izquierda locales que escapan de la observación de campo afectando principalmente las comunidades de El Tamarindo, los Jaras y Gutiérrez Norte.



Tupak Ernesto Obando Rivera

Realizó estudios de Postgrado en la Sede Iberoamericana Santa María La Rábida en la Universidad Internacional de Andalucía (UNÍA), donde obtuvo Máster en 2007. Cursó enseñanzas y superó las pruebas de evaluación del I Programa Interuniversitario de Doctorado en Geología y Gestión, donde obtuvo un doctorado en 2010.



978-3-8465-6997-9

editorial académica española

Peligro Sísmico en San Rafael del Sur



Tupak Ernesto Obando Rivera

Peligro Sísmico en San Rafael del Sur, Managua- Nicaragua

Ingeniería sísmica al servicio del desarrollo integral y sostenible de Nicaragua, la ciencia y la sociedad moderna

Obando Rivera

Tupak Ernesto Obando Rivera

Peligro Sísmico en San Rafael del Sur, Managua-Nicaragua

Tupak Ernesto Obando Rivera

Peligro Sísmico en San Rafael del Sur, Managua-Nicaragua

**Ingeniería sísmica al servicio del desarrollo integral
y sostenible de Nicaragua, la ciencia y la sociedad
moderna**

Editorial Académica Española

Impressum / Aviso legal

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek: Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Alle in diesem Buch genannten Marken und Produktnamen unterliegen warenzeichen-, marken- oder patentrechtlichem Schutz bzw. sind Warenzeichen oder eingetragene Warenzeichen der jeweiligen Inhaber. Die Wiedergabe von Marken, Produktnamen, Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen u.s.w. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutzgesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Información bibliográfica de la Deutsche Nationalbibliothek: La Deutsche Nationalbibliothek clasifica esta publicación en la Deutsche Nationalbibliografie; los datos bibliográficos detallados están disponibles en internet en <http://dnb.d-nb.de>.

Todos los nombres de marcas y nombres de productos mencionados en este libro están sujetos a la protección de marca comercial, marca registrada o patentes y son marcas comerciales o marcas comerciales registradas de sus respectivos propietarios. La reproducción en esta obra de nombres de marcas, nombres de productos, nombres comunes, nombres comerciales, descripciones de productos, etc., incluso sin una indicación particular, de ninguna manera debe interpretarse como que estos nombres pueden ser considerados sin limitaciones en materia de marcas y legislación de protección de marcas y, por lo tanto, ser utilizados por cualquier persona.

Coverbild / Imagen de portada: www.ingimage.com

Verlag / Editorial:

Editorial Académica Española

ist ein Imprint der / es una marca de

AV Akademikerverlag GmbH & Co. KG

Heinrich-Böcking-Str. 6-8, 66121 Saarbrücken, Deutschland / Alemania

Email / Correo Electrónico: info@eae-publishing.com

Herstellung: siehe letzte Seite /

Publicado en: consulte la última página

ISBN: 978-3-8465-6997-9

Zugl. / Aprobado por: Huelva, Universidad Internacional de Andalucía, Tesis
Posdoctoral.2010

Copyright / Propiedad literaria © 2012 AV Akademikerverlag GmbH & Co. KG
Alle Rechte vorbehalten. / Todos los derechos reservados. Saarbrücken 2012

**PELIGRO SÍSMICO AL NOROESTE DE SAN RAFAEL DEL SUR,
MANAGUA-NICARAGUA.**

AUTOR:

Tupak Ernesto Obando Rivera.

MANAGUA, 2012

INDICE GENERAL

I.	Introducción,	1
II.	Objetivos,	2
III.	Conceptos Generales,	3
IV.	Marco Geológico General de San Rafael del Sur,	5
V.	Sismicidad Regional de San Rafael del Sur,	9
VI.	Geología Local,	13
VII.	Sismicidad Local,	32
VIII.	Intensidad del Movimiento Sísmico en el Suelo Al Noroeste de San Rafael del Sur y sus alrededores,	41
IX.	Vulnerabilidad estructural ante sismos en el área noroeste de San Rafael del Sur,	47
X.	Correlación de la geología de campo con datos sísmico instrumentales para el área al Noroeste de San Rafael del Sur,	59
XI.	Metodología desarrollada,	61
XII.	Resultados,	63
XIII.	Discusión,	68
XIV.	Conclusiones,	70
XV.	Recomendaciones,	72
XVI.	Bibliografía,	74
XVII.	Anexo,	75

INDICE DE CONTENIDO

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	OBJETIVOS	2
	2.1- Objetivo General.....	2
	2.2- Objetivos Específicos.....	2
III.	Conceptos Generales	3
	3.1- Peligro Sísmico.....	3
	3.2- Falla Geológica.....	3
	3.3- Mecanismo Focal.....	3
IV	Marco Geológico General de San Rafael del Sur	5
	4.1-Geomorfología.....	5
	4.2-Estratigrafía.....	6
	4.2. a – Formación El Salto.....	6
	4.2. b – Formación Fraile.....	6
	4.2. c – Formación Masachapa.....	6
	4.2. d- Formación Brito.....	7
	4.2.2 - Grupo La Sierra.....	7
V	Sismicidad Regional en San Rafael del Sur	9
VI	Geología local	13
	6.1-Estación 1: Km. 48 carretera San Rafael del Sur Los Jaras.....	13
	6.2-Estación 2: Empalme San Rafael del Sur – Sánchez Norte, camino a Los Sánchez Norte – cruce el Río Jesús.....	18
	6.3-Estación 3: Km. 51 Carretera San Rafael del Sur, camino El Tamarindo hacia el Río Jordán.....	27
VII	Sismicidad local	32
	7.1 – Característica estructurales obtenidas de Mecanismos Focales para el sitio de Estudio.....	34
	7.2 – Estilos de rupturas en San Rafael del Sur.....	36
	7.3.- Procedimiento de cálculo de características estructurales a partir de Mecanismos Focales presentados en la Tabla 4 y Figura 5.....	39
VIII	Intensidad del Movimiento Sísmico en el Suelo al Noroeste de San Rafael del Sur y sus alrededores	41
	8.1 - Registros instrumentales de aceleraciones sísmicas En la Cementera Cemex de San Rafael del Sur, Managua.....	42
	8.2 – Comportamiento futuro de las aceleraciones sísmicas Determinadas por la Cementera Cemex para San Rafael del Sur.....	44

IX	Vulnerabilidad estructural ante sismos en el área Noroeste de San Rafael del Sur.....	47
X	Correlación de la Geología de Campo con Datos Sísmicos Instrumentales para el área al Noroeste de San Rafael del Sur.....	59
XI	METODOLOGIA DE TRABAJO.....	61
	11.1- Procedimiento para la recolección de datos y su análisis.....	61
	11.1.1- Revisión bibliografía y recopilación de datos.....	61
	11.1.2- Recolección y estudios de mapas, informes geológicos y datos sísmológicos.....	61
	11.1.3- Ejecución del trabajo geológico de campo, búsqueda de evidencia, recolección de datos estructurales y llenado de ficha datos técnicos.....	61
	11.1.4- Procesamiento y análisis de información obtenida. Resultados.....	62
	11.1.5- Discusión de los resultados y digitalización o presentación de la información grafica (mapas, tablas, etc.).....	62
	11.1.6- Informe final.....	62
	11.2- Instrumentos de Investigación.....	62
	11.2.1- Trabajo de oficina.....	62
	11.2.2- Trabajo de campo.....	62
	11.2.3- Informe final.....	62
XII	RESULTADOS.....	63
XIII	DISCUSIÓN.....	68
XIV	CONCLUSIONES.....	70
XV	RECOMENDACIONES.....	72
XVI.	BIBLIOGRAFÍA.....	74
XVII	ANEXO.....	75
	A.1-Localización de San Rafael del Sur en Mapa Topográfico a escala 1:50,000. INETER (1988).....	76
	A.2- Perfiles Geológicos en Mapa Topográfico de San Rafael del Sur a escala 1:33,000, 2951-IV.....	77
	A.3- Modelos Matemáticos.....	82
	A.3.1- Proceso de Poisson.....	82
	A.3.2. Relaciones Habituales utilizadas en los estudios de peligros sísmico.....	83
	A.4. Productos cartográficos generados.....	84
	A.5. Producto metodológico obtenido.....	87
	A.6. Mecanismos focales desarrollado al Noroeste de San Rafael del Sur.....	89
	A.7. Acerca del Autor.....	90

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo determinar el peligro sísmico asociado a fallas geológicas en un área al Noroeste de San Rafael del Sur, para la planificación física y uso del territorio, basado en revisiones bibliográficas, descripciones geológicas de campo y en el análisis sísmico histórico e instrumental con apoyo de Mapa Geológico y Topográfico a escala 1:50,000 del Municipio de San Rafael del Sur, fichas de datos técnicos, Sistema de Información Geográfica (ARcGis 9) y AutoCad 2004 para el tratamiento automático de la información.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se muestra una distribución espacial de epicentros en dirección SO -NE al Noroeste de San Rafael del Sur en un rango de 2.3 – 3.8 ML y profundidades entre 0 - 18.5 km con un 99.9% de que exceda cada año los 3°R. Todos los sismos, transversales a la zona de subducción con una extensión de 7km², se hallan asociado a falla laterales izquierda locales que escapan de la observación de campo afectando principalmente las comunidades de El Tamarindo, los Jaras y Gutiérrez Norte, de acuerdo con las pocas evidencias visibles en superficie tales como microfallamiento tectónico, diaclasas de relajación, fracturas y plegamiento tectónico corroborados con la cartografía geológica regional.

El área noroeste de San Rafael del Sur presenta un relieve plano compuesto por suelos arcillo-arenoso aluvial reciente, aglomerados basálticos dispersos y arcilla limosa relativamente firme donde se hallan emplazados iglesias, centros educativos, edificios industriales y viviendas familiares influenciados por la sismicidad superficial con magnitudes entre 2.7 – 3.3 °R y profundidades focales de 0 – 8.9km.

El ambiente tectónico local, las características sísmicas in situ, la morfología, litología, estratigrafía, particularidades constructivas y condiciones del subsuelo contribuyen al aumento del peligro sísmico en el sitio de estudio. Donde el factor suelo refleja máximos valores de aceleración al que puede normalmente comportarse el terreno variando de 0.4 - 0.5g en lugares críticos como El Tamarindo y Los Jaras. Dichos datos se concentran en número pequeño de sismos locales calculados por la relación de Atenuación de Campbell (1981)

Los cálculos históricos de aceleraciones horizontales obtenidas por Zapata et. al (1985) registran lecturas de 0.02 – 0.16 y 0.05 – 0.24 gs'. Estas últimas con periodos de retornos entre rangos de 5 – 500 años, comprobada con la cartografía sísmica regional presentada por GSHAP-INETER en 1999 para un período de 50 años con excedencia del 10% que corresponde a un periodo de retorno de 475 años con valores de aceleración del suelo entre 4.0 – 4.5 m /seg² característico para una zona de amenaza sísmica alta.

Finalmente, se definió datos de densidad de fallas geológicas y fracturas tectónicas locales en un área de 45km² al Noroeste de San Rafael del Sur conformada por las comunidades de El Tamarindo, Los Jaras, Gutiérrez Norte, Sánchez Norte y San Rafael del Sur en **0.516090666km⁻¹** y **0.287064km⁻¹** respectivamente. Esto es desfavorable por acentuar la mayor liberación de energía sísmica en El Tamarindo, Los Jaras y Gutiérrez Norte atenuándose hacia el Este en las comunidades de los Sánchez Norte y San Rafael del Sur.

I. - INTRODUCCIÓN

La actividad sísmica de la región del Pacífico de Nicaragua está controlada por la convergencia de las placas Cocos y Caribe.

En este estudio se determinó el peligro sísmico de un área al noroeste de San Rafael del Sur, en el Departamento de Managua, para una mejor planificación física y uso del territorio en esa parte de la región del Pacífico de Nicaragua. **(Véase Anexo 1).**

El sitio de interés presenta una forma rectangular y superficie de 45 kilómetros cuadrados. En su esquina SO se localiza Masachapa; se extiende al Norte de San Cayetano, luego al Este hasta Casa de Teja y finalmente al Sur, pasando por San Rafael del Sur, hasta el lugar La Junta. Las coordenadas UTM de los vértices del terreno situado en el cuadrángulo Suroeste del Mapa Topográfico "San Rafael del Sur" con código 2951-IV, a escala 1:50,000 se presentan a continuación:

- 1- N1312.045-E554.458;
- 2- N1308.116-E554.474;
- 3- N1311.961-E561.006;
- 4- N1308.116-E561.006

El recorrido sugerido en esta investigación fue siguiendo las rutas: El Crucero-San Rafael del Sur-Masachapa; El Crucero-Los Chiles-San Rafael del Sur y el Empalme de la carretera Vieja a León a Masachapa, además caminos secundarios dentro del área, en donde fue posible moverse por vehículo o a pie para observaciones y mediciones puntuales de afloramientos y cortes de cauces o río, etc.

Se propone esta área por la disponibilidad de datos sísmico con profundidades someras sugieren actividad de fallas geológicas locales; además, es un área costera fuera del graben de Nicaragua lo cual le imprime un atractivo científico, en razón que la sismicidad no se asocia únicamente a la subducción, ni a la actividad sísmica volcánica ínter graben.

II.- OBJETIVOS.

2.1.-) Objetivo General

Determinar la peligrosidad sísmica de un área al noroeste del Municipio de San Rafael del Sur.

2.2.-) Objetivos Específicos

1. Caracterizar estructural y sísmicamente el sitio de estudio a partir de parámetros deducidos de mecanismos focales de los datos sismológicos.
2. Correlacionar la geología de campo con datos sísmicos instrumentales para el área localizada al Noroeste de San Rafael del Sur.
3. Clasificar y cartografiar edificaciones in situ de acuerdo a su uso y tipología constructiva.
4. Mostrar resultados de vulnerabilidad estructural mediante modelos estadísticos simples.
5. Preparar mapa de zonificación sísmica a escala 1:35,000 del sitio estudiado usando el programa de computadora ARcGis 9.
6. Presentar niveles de peligro sísmico local en un mapa a escala 1:32,000 de la zona de interés usando un Sistema de Información Geográfica SIG (ARcGis 9).

III – CONCEPTOS GENERALES

El autor considera conveniente definir algunos conceptos básicos, propuestos por varios autores, antes de dar inicio a esta investigación.

3.1 – Peligro sísmico

- Capacidad potencial de que se produzca un efecto adverso como parte de un sismo ⁽³⁾.
- Cualquier factor externo a una región, representado por un fenómeno sísmico que produce desastre al manifestarse ⁽²⁾.
- Condiciones o proceso del ambiente que dan origen a pérdida de vida o daños económicos en poblaciones humanas ⁽¹⁾.

3.2 – Falla geológica:

Fractura planar en el terreno en la cual una roca ha sido desplazada con respecto a otro ⁽⁹⁾. O bien, ruptura del suelo seguida del desplazamiento del terreno resultante de la fractura.

Una falla geológica en la cual se han producido desplazamiento de formaciones estratigráficas del Pleistoceno de la Era Cuaternaria ocurrido durante los últimos 10,000 años es considerada como **falla sísmica activa**. ⁽¹⁰⁾

3.3 – Mecanismo Focal ⁽¹⁰⁾:

El desplazamiento relativo de lados adyacentes en una falla geológica produce una distribución de compresiones (C) en zonas situadas en dirección del movimiento y de tensiones o dilataciones (D) en zonas opuestas a la dirección del movimiento como lo indica la **figura 1**.

Para conocer el mecanismo que produce los sismos es preciso conocer datos estructurales y geométricos de la fuente sísmica como: orientación del plano de falla, el ángulo de buzamiento, y dirección del desplazamiento relativo. Algunas veces se puede observar la fractura en superficie, en cuyo caso es fácil de medir sobre el terreno la orientación del plano de falla y la cantidad de dislocación. ⁽¹⁰⁾

El mecanismo focal consiste en esferas con radio la unidad y de material homogéneo con centro como foco. Las observaciones se identifican usando un símbolo distinto según se trate de compresiones (círculos negros) y dilataciones (círculos abiertos). (**Véase Figura 2**)

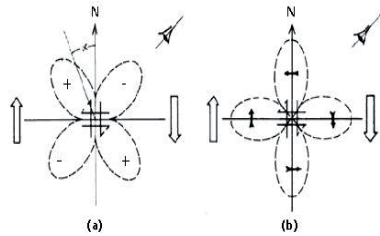


Figura 1. Vista perpendicular de una falla. Se puede notar que el espacio que rodea al epicentro se divide en cuadrantes que sufren, alternativamente empujes (compresiones) con relación al foco y arrastre (dilatación) con relación al mismo.⁽¹⁰⁾

Una vez representadas las observaciones sobre red estereográfica, se separan las compresiones y dilataciones por dos planos ortogonales, uno de los cuales representan el plano de falla. Condición del método es que las dimensiones de la falla sean pequeñas en comparación con la distancia al punto de observación. Este método permite deducir el tipo de esfuerzos que actúan en la región donde ocurrió el sismo, por consiguiente el tipo de falla, y la orientación del plano de ruptura o falla.⁽¹⁰⁾

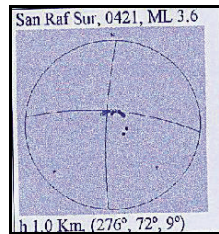


Figura 2: Mecanismo focal del sismo ocurrido el 21 de Abril de 2001, con magnitud 3.6ML y profundidad de 1.0 km que muestra zonas de compresión y dilación que experimenta el área San Rafael del Sur ante esfuerzos tectónicos⁽¹¹⁾

Las flechas grandes indican el movimiento de los lados de la falla; las flechas pequeñas paralelas a la falla indican las fuerzas que, aplicadas sobre un punto, producirían los mismos desplazamientos que ocasionó la ruptura; las flechas pequeñas perpendiculares a la falla representan fuerzas que tienen el mismo efecto que sobre los desplazamientos del material de un lado de la falla tiene la presencia del material del otro lado de ella (sin estas fuerzas la falla giraría).⁽¹⁰⁾

IV- MARCO GEOLOGICO GENERAL DE SAN RAFAEL DEL SUR

4.1- GEOMORFOLOGÍA

El territorio nacional ha sido dividido en cinco provincias que reflejan el ambiente geológico del país, las cuales son ⁽⁸⁾:

- a. Provincia de la Planicie Costera del Pacífico
- b. Provincia de la Depresión o Graben de Nicaragua
- c. Provincia del Área Central de Nicaragua
- d. Provincia del Norte de Nicaragua
- e. Provincia de los Llanos de la Costa Atlántica.

El área de estudio, situado al NO de San Rafael del Sur se encuentra integrando la Provincia de la Costa del Pacífico.

Esta provincia geológica presenta un relieve moderado a abrupto, cerros en forma de cresta angosta y larga, con fuerte inclinación hacia el mar, a veces onduladas y dislocadas, presentándose también numerosas cuevas características de rocas estratificadas de diferentes tipos. Los drenajes son escasos pero profundos con ramales paralelos a los estratos ⁽⁶⁾ (véase perfil geológico SO – NE: Quebrada Pisinga – Santa Teresa).

San Rafael del Sur constituye un ambiente deposicional volcánico-continental (de edad Terciario-Cuaternario) y marino-transicional (de edad Terciaria), de aguas someras a profundas ⁽¹⁴⁾

En el Mapa 1 se muestra la geología del sitio de estudio tomada del Mapa geológico “San Rafael del Sur” escala 1:50,000 ⁽⁷⁾.

En el sitio en sí se encuentra superficialmente material de tipo Cuaternario Coluvial (Qc) sobre el Grupo La Sierras (TQps) compuesto por tefra, el cual sería el material firme más cerca de la superficie. En los alrededores del sitio se notan 2 rumbos predominantes de fallas y fracturas, unos con rumbo NE40°SO y el otro con NO60°SE siendo una falla de tipo normal localizada dentro del área de estudio. (Véase Mapa 1) ⁽⁷⁾

4.2 - ESTRATIGRAFÍA.

4.2.1- Estratigrafía

La Planicie Costera del País, del cual forma parte San Rafael del Sur, comprende depósitos de rocas sedimentarias litorales-marinos que datan desde el Cretáceo Superior al Terciario Superior, siendo las rocas más características: caliza, arenisca, lutita y limonita; dichas rocas están siendo relacionadas básicamente a 6 formaciones geológicas: Formación Rivas de edad Cretáceo Superior, Miembro Sapoá del Eoceno Inferior, Formación Brito del Eoceno, que sobreyace discordantemente a la Formación Rivas; Formación Masachapa del Oligoceno, sobreyace a la Formación Brito. La Formación El Fraile y Tamarindo del Mioceno sobreyacen a la Formación Masachapa. Estas formaciones sobreyacen a la Formación El Salto del Plioceno (véase la tabla 2).⁽⁵⁾

En el sitio afloran la Formación Masachapa y Formación El Salto correspondiente a la provincia de la Costa del Pacífico y en sus alrededores la conocida Provincia de la Depresión constituida por el Grupo La Sierra.

a- Formación El Salto (Tps)

Esta se localiza a lo largo de la carretera las Conchitas-Masachapa y el Río Jesús, asignado con el nombre de Formación El Salto, nombre correspondiente al pueblo El Salto. Litológicamente El Salto está constituido por depósitos clásticos-detriticos, coquina recristalizada y arcilla carbonatada-organógeno. Los afloramientos más representativos se observan en el Río El Brasil, El Carmen, El Apante, Río Gutiérrez, El Salto (Río Jesús) y el Río Riachuelo.⁽⁵⁾

La Formación El Salto debido a su proceso (transgresión marina) y ambiente de formación, a las irregularidades del paleosuelo existente antes de su deposición y a los efectos de los fenómenos geológicos externos a los que han sido sometido presentan un espesor muy variable en el que se refleja un contacto entre El Salto y el Grupo La Sierra. La Formación El Salto tiene un espesor de 100m.⁽⁵⁾

b- Formación El Fraile (Tmf)

Esta representada por sedimento marino somero y transicional marino continental del Terciario Superior con 2700 m de espesor de 95km, longitud a lo largo de la Costa del Pacífico constituida por rocas arenaceas, intercalaciones de lutitas tobaceas, caliza, conglomerados y bosque de madera fósil suprayacidos por lodositas y areniscas de grano fino de plataforma costera. La Formación El Fraile es concordante con la Formación subyacente Masachapa, se señala como mejores afloramientos La Boquita, La Trinidad, Masachapa y El Velero.

c – Formación Masachapa (Tom)

Esta representada por sedimentos someros depositados durante el Terciario Superior. Marca la transición de depósitos marinos profundos a depósitos Neríticos. Litológicamente se trata de una secuencia inter.-estratificada de lutitas calcáreas y tobáceas, lodolitas y limolitas con intercalación de arenisca y brechas, con base y techo

de aglomerados y conglomerados. Algunos afloramientos representativos se observan en Loma Los Espejos y Río Citalapa⁽⁵⁾

d- Formación Brito (Teb)

Esta compuesta por sedimentos volcánicos y sedimentarios, se extiende desde el poblado de Villa El Carmen hasta la República de Costa Rica con 137km de longitud y 2,570 m de espesor alcanzando los 3350m de profundidad en otros lugares, forma un contacto discordante con la formación suprayacente Masachapa. Asimismo, con las formaciones El Fraile, El Salto y el Grupo Las Sierras, e igualmente discordante con la Formación subyacentes de Rivas, en el área de la península de Santa Ana. La presencia de marcas de oleaje, caliza y sedimentos arcillosos, la señala como originada en un ambiente playero-nerítico. Se presenta afloramiento en el Guarumo, Buenos Aires y El Nispero. Esta formación es correlacionable con la formación localizada en el área central de Nicaragua conocida como Formación Matigüas por su similitud litológica, posición estratigráfica y la presencia de fósiles, reflejando características de un ambiente lacustre marino.

4.2.2- Grupo La Sierras (TQps)

Esta unidad geológica se halla conformada por depósitos volcánicos recientes, piroclastos, pómez, lapilli, ceniza, flujo de lodo, flujo de pómez, y sedimento fluvial lacustre de 680m de espesor y unos 100,000 años de edad sobre el cual se asienta la ciudad de Managua. Los suelos que se desarrollan sobre el Grupo la Sierra son limoso, arenosos y gravosos poco cohesivos, inconsolidado y heterogéneo conocidos en la estratigrafía de Managua y alrededores como Cuaternario aluvial (**Qal**) y Cuaternario Coluvial (**Qc**). Los primeros, provenientes de zonas de ríos o cauces que originan depósitos arenosos y arcillosos aluviales. Los segundos, resultantes de sedimentos provenientes de los edificios volcánicos jóvenes y zonas montañosas de la Sierras alta de Managua.

Tabla 1: Estratigrafía de la Costa del Pacífico ⁽⁵⁾

Era	Periodo	Formación	Espesor(metros)	Litología
<i>CUATERNARIO</i>	<i>Reciente</i>	Depósitos aluviales	5 – 30	Aluviones, depósitos arcillosos y arenas marinas, intercalaciones de ceniza volcánica
	Pleistoceno a Reciente	Serie volcánica Las Sierras(TQps)	600	Pómez, ceniza volcánica, aluviones y lodos tobas.
<i>TERCIARIO</i>	<i>Plioceno</i>	Caliza madreporica	10 – 15	Caliza orgánica compactas
		Formación El Salto(Tps)	110	Conglomerado basal, arenas y cascajos. Areniscas cuarzosas fosilíferas. Arcilla esquistos con foraminíferos, calizas conchas
	<i>Mioceno</i>	Formación El Tamarindo(Tmt)	680	Arenisca calcárea y esquistos tobáceos cuarzosos, lentes de brecha volcánica, arenisca cuarzosa compacta.
		Formación El Fraile(Tmf)	2700	Tobas macizas y arcilla tobáceas, brecha tobáceas, arcilla roja y material silíceo variado. Madera fósil silicificada.
	<i>Oligoceno</i>	Formación Masachapa(Tom)	1683	Arcillo esquisto y arcillitas, arenisca tobáceas, arcilla roja y material silíceo variado. Madera fósil silicificada.
	<i>Eoceno</i>	Formación Brito(Teb)	2570	Arenisca calcárea y margas. Arcilla esquistos y brechas arenáceas. Tobas y brechas fosilífera de orbitoides.

SECUNDARIO	Cretáceo Superior	Formación Rivas (Ks)	2,100	Arcosas, arcilla esquistosa con intercalaciones varías, tobáceas y arenáceas margas y esquistos margosos, arenisca y grauwacas.
------------	-------------------	----------------------	-------	---

V- SISMICIDAD REGIONAL DE SAN RAFAEL DEL SUR

La ocurrencia de sismos en San Rafael del Sur obedece, particularmente, a la actividad de las fallas geológicas locales, transversales a la Planicie Costera del Pacífico de Nicaragua (Véase en Figura 3) ^{(3) (15)}

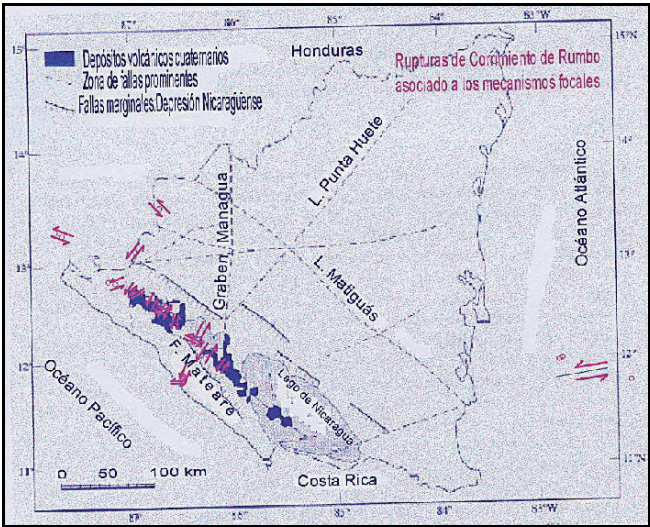


Figura 3: Marco Estructural de Nicaragua y San Rafael del Sur ⁽¹¹⁾

La sismicidad de San Rafael del Sur ha sido dividida en dos períodos. Los sismos se hallan asociados a la zona de subducción ⁽¹⁵⁾:

a) 1852 – 1987: se presenta un registro continuo de magnitudes Mb que oscila entre 5.0 y 7.3 en 63 sismos, de los cuales el Terremoto del 24.10.1956, mb = 7.1, Ms = 7.2 y ho = 26km localizado a 30 km del sitio de estudio que pudo haber provocado Intensidad del Grado VII a VIII en el sitio. En este período se registraron sismos con mb ≥ 5.0, localizado a distancia focal entre 5 y 151 km, afectando el área de estudio. En total se recopilaban un total de 63 eventos sísmico ⁽¹⁵⁾ (Véase Tabla 2. a)

Los eventos superficiales predominando mayormente son los sismos con profundidades intermedia (35 – 151 km).⁽¹⁵⁾

b) 1976 – 1983: el INETER, recopiló un listado de sismos cercano al sitio de estudio, los cuales se muestra en la Tabla 2b, por estar éste en una región con alto nivel de sismicidad, en donde solamente se presenta eventos con $M_n > 2$ siendo el evento del 05.12.1981 con $M_n = 3.9$ y $h_o = 89\text{km}$ con una distancia epicentral cercana al área investigada. Se recopilaron un total de 25 eventos sísmicos.⁽¹⁵⁾
(Véase Tabla 2: b)

Tabla 2: Terremotos históricos ocurridos en el área del Proyecto “Ampliación de la Planta de Cementos” ocurridos entre 1852-1987 y 1976 – 1983 en San Rafael del Sur asociado a procesos de subducción.⁽¹⁵⁾

a).- Período: 1852 - 1987

Terremoto N°	Fecha/Hora GMT	Coordenadas Lat. N/ Long. W	Prof. (Km.)	M_b	M_s
1	29.06.1852/--	12°09’/86°18’	35	5.6	---
2	---12.1856/--	11°57’/86°09’	35	5.6	---
3	25.04.1857/--	11°57’/86°09’	35	6.4	---
4	11.04.1858/--	11°57’/86°09’	35	5.6	---
5	---.12.1865/--	12°00’/86°00’	35	7.3	---
6	29.04.1881/03h00’	11°30’/86°18’	135	7.3	---
7	18.06.1884/--	12°09’/86°15’	35	5.6	---
8	19.06.1884/---	12°09’/86°15’	35	5.6	---
9	20.06.1884/---	12°09’/86°15’	35	5.6	---
10	18.07.1884/11h00’	12°09’/86°15’	35	5.6	---
11	18.07.1884/14h00’	12°09’/86°15’	35	5.6	---
12	19.07.1884/13h00’	12°09’/86°15’	35	5.6	---
13	19.07.1884/14h00’	12°09’/86°15’	35	5.6	---
14	20.07.1884/12h00’	12°09’/86°15’	35	5.6	---
15	30.12.1907/05h26’	12°09’/86°18’	35	---	7.2
16	17.10.1913/---	11°57’/86°09’	35	5.6	---
17	31.03.1931/16h00’	12°09’/86°18’	5	5.6	5.8
18	02.10.1932/02h59’	11°30’/86°30’	135	6.8	6.6
19	11.07.1933/07h00’	12°12’/86°18’	35	5.6	---
20	24.08.1933/---	12°12’/86°18’	35	5.6	---
21	22.12.1934/14h29’	11°30’/87°00’	35	6.5	6.5
22	25.04.1938/17h07’	12°12’/86°54’	35	6.4	6.0
23	06.01.1941/09h48’	11°45’/86°30’	60	6.0	---
24	05.01.1951/12h07’	12°12’/86°18’	35	5.6	---
25	28.09.1951/17h51’	11°26’/86°33’	54	5.8	5.8
26	17.12.1951/17h51’	12°05’/86°24’	81	5.1	---
27	26.02.1952/15h39’	11°30’/86°24’	60	5.9	6.2
28	02.03.1952/18h53’	11°22’/86°24’	64	5.6	5.7

29	03.03.1952./17h42'	11°16'/86°16'	33	5.7	5.5
30	19.02.1954./00h40'	11°53'/86°55'	44	6.8	---
31	20.02.1954/00h40'	11°58'/86°58'	32	6.0	6.0
32	21.02.1954/01h29'	11°35'/86°37'	56	5.1	5.1
33	27.11.1954/16h.02'	11°50'/86°52'	54	5.7	5.1
34	30.04.1955/01h32'	12°13'/86°38'	35	5.9	6.2
35	30.04.1955/01h43'	12°09'/86°33'	34	5.9	5.7
36	30.04.1955/09h15'	12°14'/86°40'	43	5.6	6.0
37	16.08.1955/19h10'	11°19'/86°40'	8	5.1	5.2
38	24.01.1956/---	12°12'/86°42'	135	7.3	---
39	24.10.1956/14h42'	11°32'/86°33'	26	7.1	7.2
40	25.10.1956/05hg21'	11°32'/86°26'	44	6.4	5.9
41	13.08.1958/23h21'	11°42'/86°26'	35	5.6	---
42	04.12.1958/19h19'	11°29'/86°35'	50	6.0	5.7
43	22.04.1959/19h01'	11°22'/86°33'	25	5.4	5.5
44	24.04.1959/19h31'	11°23'/86°29'	19	6.4	5.8
45	05.06.1959/20h37'	11°59'/86°44'	27	5.3	5.6
46	12.07.1959/00h34'	11°30'/86°00'	35	5.6	---
47	20.03.1961/06h16'	11°23'/86°25'	48	5.6	6.0
48	21.03.1965/09h42'	11°29'/86°31'	40	5.2	5.6
49	15.10.1967/08h00'	11°46'/86°08'	151	6.2	6.4
50	13.05.1969/14h16'	11°17'/86°33'	34	5.6	6.4
51	15.01.1970/16h52'	11°47'/86°42'	31	5.1	---
52	20.01.1970/08h27'	11°21'/86°36'	33	5.4	---
53	12.08.1970/0924'	11°47'/86°56'	38	5.9	6.3
54	12.08.1970/10h24'	11°47'/86°55'	38	5.6	5.5
55	16.05.1974/23h07'	11°16'/86°13'	65	5.4	5.6
56	21.07.1974/22h33'	11°17'/86°01'	83	5.1	---
57	24.05.1976/10h54'	11°30'/86°53'	48	5.3	5.7
58	26.10.1977/09h20'	11°54'/86°54'	58	5.0	---
59	26.04.1978/21h00'	11°23'/86°39'	71	5.1	---
60	15.05.1978/21h16'	11°24'/86°36'	92	5.0	3.9
61	18.12.1979/10h37'	11°36'/86°17'	57	5.5	5.6
62	15.12.1980/10h09'	11°23'/86°09'	91	5.0	4.4
63	27.01.1987/01h53'	11°20'/86°411'	56	5.0	4.6

b).- Período: 1976 - 1983

Terremoto Nº	Fecha/Hora GMT	Coordenadas Lat. N/ Long. W	Prof. (Km.)	Magnitud M _N
1	06.03.1976/20h56'	11°51'/86°28'	137	2.4
2	23.09.1976/00h46'	11°49'/86°28'	37	2.6
3	21.11.1976/04h55'	11°50'/86°27'	117	2.0
4	09.02.1977/08h22'	11°52'/86°30'	136	2.1
5	20.04.1977/02h09'	11°50'/86°27'	93	1.7
6	19.12.1977/02h53'	11°49'/86°28'	111	2.2
7	04.04.1978/12h27'	11°52'/86°26'	156	2.2
8	14.07.1978/01h53'	11°50'/86°28'	85	2.3
9	11.08.1978/17h37'	11°50'/86°28'	91	1.9

10	30.08.1978/04h42'	11°51'/86°25'	111	2.3
11	31.08.1978/17h50'	11°51'/86°30'	83	2.6
12	08.12.1978/23h53'	11°51'/86°28'	132	2.5
13	01.01.1980/17h07'	11°51'/86°27'	106	3.1
14	30.01.1980/05h39'	11°53'/86°28'	138	3.1
15	05.03.1980/05h39'	11°51'/86°29'	107	3.3
16	13.05.1980/02h48'	11°50'/86°25'	87	2.7
17	09.09.1980/22h39'	11°49'/86°29'	89	2.8
18	01.06.1981/22h43'	11°49'/86°28'	93	2.8
19	06.06.1981/07h44'	11°52'/86°29'	89	2.0
20	19.06.1981/09h12'	11°53'/86°29'	133	2.9
21	16.10.1981/18h49'	11°52'/86°30'	185	3.7
22	07.11.1981/10h01'	11°49'/86°27'	96	3.0
23	05.12.1981/18h47'	11°49'/86°30'	89	3.9
24	05.06.1982/06h11'	11°49'/86°30'	121	3.0
25	22.12.1983/22h44'	11°50'/86°29'	85	2.8

VI- GEOLOGÍA LOCAL

6.1- Estación 1: Km. 48 carretera San Rafael del Sur Los Jaras

Se observa macizos rocosos de areniscas tabulares de 4 m de largo y 2m de ancho dispuestos en escalones salientes verticales fuertemente intemperizados de 1m de alto, con orientación SO-NE muy inestable de color café verduzco, compacto, masivo, impermeables, incoherentes al golpeteo con martillo de geólogo con bajo grado de fracturación y soportado por conglomerados aluviales. Se hallan en las coordenadas UTM N1309.448 –E 557.991 (Véase Columna Estratigráfica 1)



Foto 1: Macizo rocoso de arenisca parcialmente alterado de forma tabular con bajo fracturamiento con espaciado de 2 cm, sin continuidad, con abertura cerrada compacto, con rugosidad media, muy meteorizado, incoherentes, color café oscuro sobre el cual yace una espesa cobertura vegetal.

En dirección Oeste del Río Jesús en Los Jaras, localizado a unos 69m de elevación en las coordenadas UTM N1309.420. -E558.138, encontramos bloques irregulares inclinados de arenisca desplazados, con orientación SO-NE, de agrietamiento superficial, dimensiones de 7m de largo y 5m de ancho, separado 3m de otros macizos adyacentes, ligeramente meteorizado, poco permeable, compactos, coherentes, de color café amarillento con contenido orgánico de 40cm de espesor. Subyaciendo concordantemente las areniscas tenemos sedimentos arcillo-limos estratificados y fracturados de color anaranjado-amarillento, inconsolidado, meteorizado de 10 cm de espesor.



Foto 2: Macizo rocoso inclinado, subanguloso, meteorizado y fracturado con grietas superficiales con espaciado de 0.5 cm, irregulares, con abertura cerrada, rugosidad media y muy resistentes debidas a una reducción de la carga litostática. Estos bloques de arenisca presentan un color amarillento, con cobertura vegetal densa.

Estos masivos de arenisca están cementados con arcillas, donde se notan fracturas lineales con un espaciamiento de 0.5 cm y baja rugosidad.



Foto 3: Bloque irregular, fracturado ligeramente meteorizado con grietas de 1.5 cm de espaciado y 50 cm de largo, irregulares, abertura muy cerrada muy resistente, coherente, impermeables, de color gris-amarillo.

Suprayaciendo estos macizos rocosos se hallan lutitas aluvial dispuestas horizontalmente en 3 ciclos deposicionales de espesor variable. La superficie de separación es irregular y ondulada soportada cada capa por limo, la primera de 75cm de espesor muy intemperizada; seguido de una capa de 67cm de potencia y finalmente otra capa limo-arcillosa de 145cm de espesor, intemperizada, inconsolidada de color café oscuro. Todas desprovistas de cubierta vegetal.



Foto 4: Estratos de lutita regulares dispuesta horizontalmente, ligeramente agrietados y meteorizados, sin fracturamiento, con superficie de estratificación de 2 cm de espacio, sin continuidad y abertura cerrada, consolidados

Asimismo, se aprecian arenisca estratificadas inclinadas hacia la izquierda subyacente por las lutitas mencionadas anteriormente con 45° de buzamiento, fracturadas, incoherentes, color café oscuro, susceptible a la erosión.



Foto 5: Estratos de lutitas horizontales meteorizados y poco fracturado con superficie de estratificación de 1 cm de espacio, con abertura abierta compacta y deleznable, de color café oscuro inestable, inconsolidado y con poca vegetación en su superficie.

En su base tenemos una secuencia de material aglomerático con contenidos arcillas de color café, masivo, cementado y compacto de 1.55m de espesor. Luego, tenemos un aglomerado volcánico de 1.10m de espesor con estratificación gradual y finalmente depósitos aluviales consolidados compuesto de fragmento grueso y fino de arena. Tienen un rumbo de $S40^\circ O$.

Contiguo al río Jesucristo el corte de roca, tiene fracturas de 70° de buzamiento y rumbos de $S26^\circ E$, con un espaciamiento de 0.5cm

Se aprecia caída de bloque sobre capas delgadas de 5cm de lutitas, cuya superficie de separación de capas se entierran en el lecho del río.



Foto 6: Macizo subangulosos de waka alterada y meteorizada sin estratificación ligeramente resistente

El fracturamiento se debe al peso de las areniscas masivas de color pardo sobre lutitas más blanda, frágiles generando fracturas verticales y lineales

En la base del macizo de roca se hallan conglomerados aluviales dispuestos en capas de 1 m de potencia ocultándose en el canal del río Jesús, compacto e impermeables, ligeramente meteorizado, de color café-amarillento.



a)



b)

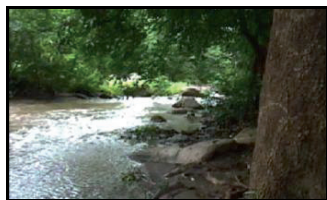


c)

Foto 7: **a)** Estructura masiva de arenisca moderadamente meteorizada, con bajo grado fracturación buzando y enterrándose en el Río Jesús, impermeable, coherente dispuesto horizontalmente. **b)** Arenisca meteorizada con superficies irregulares de separación con 3 cm de espacio y abertura abierta y cementados por arcillas. **c)** Conglomerados aluvial con matriz arcillosa, de fragmentos subangulosos de diámetro mayor de 1cm, ligeramente meteorizado con disposición caótica.

Hacia el Oeste del Río Jesucristo a unos 77 m de elevación y coordenadas UTM: 557.998/1309.465 se hallan toba andesíticas compuestas por arenas finas y cenizas, aglomerados volcánicos, proveniente de oleadas piroclástica. Estos horizontes se encuentran plegados y dispuestos en capas onduladas y curvas fracturadas de 50cm de espesor. En el techo tenemos suelos areno-limoso cortados por las raíces de árboles.

En las coordenadas UTM: E557.758-N1309.224 a una elevación de 61 m, en las orilla del río se encuentran bloques subangulosos andesítico mayor de 1 m de diámetro provenientes de erupciones volcánica del Cuaternario de la Sierra Inferior que probablemente factores como la dirección del viento y topografía permitió su distribución a lo largo del curso de la corrientes de agua o derrumbes locales de depósitos coluviales. La pendiente de la planicie de inundación es de 2-3°, compuesto de unos suelos arenosos finos.



a)



b)

Foto 8: a) Vista panorámica del Río Jesús, se observa un llano aluvial con pendiente 3°, compuesto por un suelo arenoso y bloque rodados de arenisca de varios metros de diámetros y abundante vegetación. **b)** Macizo rocoso de 2 m de diámetro sobre el lecho del río, que ocasiona la reducción de la velocidad de la corriente fluvial y acumulación de arena y limo fino en su cara frontal.

Buscando evidencia de fallas hacia Este del Río Jesús cercano al poblado de San Rafael del Sur, se descendió para encontrar la continuidad del río a través de la quebrada el Rastro en las coordenadas UTM 560.580/1309.808. En este sitio yacen areniscas gris oscura plegadas y fracturadas con zonas de cortes e intercalaciones de las mismas con lutitas. Se asemejan a las estructuras de boundije. Las grietas se hallan rellenas con yeso y cuarzo.



a)



b)

Foto 9: a) Estrato plegado y fracturado de arenisca, meteorizado soportado por suelo arcilloso y suprayacido por acumulaciones aluviales de arena y limo fino. **b)** Lutita ondulada y meteorizada de 5 cm de ancho con superficie de separación de 6 cm.

El siguiente punto en la quebrada se encontró areniscas esferoidales dentro de las lutitas afectadas por el intemperismo químico. Antes de llegar al río Jesús tenemos zonas de corte en forma de tijera de arenisca muy fracturada y plegamiento intenso en las coordenadas UTM: 560.429/1309.874. La intercalación de arenisca y lutitas se encuentra presente, en su mayoría de color verde oscuro, muy fracturado rellenas con yeso. Las fracturas verticales con desplazamiento de 5cm están rellenas de arcillas cortados horizontalmente por estratos de lutitas.

En las coordenadas UTM: 559.800/1309701 obtenidas del mapas geológicos donde se representa como línea continua la falla, directamente en el Río Jesús no existe evidencia de fallamiento, tenemos un suelo aluvial y residual de 2m de espesor con corrientes de aguas rápidas y abundante vegetación, sin ningún tipo de afloramiento.



Foto 10: a) Terraza aluvial de 2m de potencia, compuesta de suelo arcilloso, erosionado por el Río Jesús con cobertura vegetal en su techo. **b)** Depósito aluvional de arena gruesa y grava con un canal fluvial de 15 m de ancho sin evidencia de planos o zonas de fallas.

6.2- Estación 2: Empalme San Rafael del Sur – Sánchez Norte, camino a Los Sánchez Norte – cruce el Río Jesús.

Se halla en el extremo inicial del empalme del camino Sánchez Norte con el Río Jesús hacia el Oeste en las coordenadas UTM N1312094-E560.540 con unos 650 m de elevación un suelo areno-limoso, erosionado por una corriente de agua superficial tranquila, controlada estructuralmente por falla geológica. Aquí se presentan arenisca fracturada dispuesta en escalón y ligeramente meteorizada compacta y permeable. El rumbo de los estratos inclinados es de S20°O y buzando 85° de color grisáceo y levantamiento de estructuras ocasionando la acumulación de arena fina aluvial y cantos rodados mayor de 30 cm., y cambio del curso del río. (Véase Columna Estratigráfica 2)



a)



b)

Foto 11: **a)** Planos escalonados de arenisca resistentes con 30 cm de desplazamiento vertical, fracturado y meteorizado. **b)** Superficie inclinada de arenisca waka, con alto grado de fracturación espaciada cada 20 cm, grieta ondulada y abertura abierta de 2cm de separación en sus caras interiores.

Cortadas y separadas por diaclasas verticales cada 10 cm unas de otras y rellenas con carbonatos de calcio.



a)



b)

Foto 12: **a)** Grauwaka separadas por fracturas verticales de abertura cerrada, ligeramente meteorizado muy compacto espaciada 10 cm una de otras, con baja rugosidad y dispuesta horizontalmente. **b)** Vetilla de calcitas de unos 50 cm de longitud, cortando las areniscas grauwaka perpendicularmente en superficie de espaciado de 40 cm.

Las fracturas lineales y de baja rugosidad tienen un espaciamiento en su interior menor a un 1 cm., con pequeños desplazamiento horizontales en dirección Este – Oeste asociados a fallas lateral izquierdo con menos de los 50 cm de largo e irregulares.



a)



b)

Foto 13: **a)** Ligero flexionamiento de la arenisca en dirección transversal a fractura horizontal cuyas aberturas están rellenas con arenas y limo fino. **b)** Desplazamiento horizontal de 20 cm característico de una falla lateral derecha de las areniscas resistentes por donde filtra la corriente fluvial, con fracturación marcada.

El Río Jesús tiene aproximadamente 25 m de ancho y 2 m de profundidad, alcanzando 5 m de altura con las crecidas en época lluvias intensas y prolongadas. Se aprecian saltos de agua que reducen la velocidad del caudal y retienen los sedimentos aluviales en zonas puntuales del lecho fluvial. Aquí la roca tiene un rumbo de S20°E/70°.



a)



b)

Foto 14: **a)** Estructura en escalón de arenisca waka con desplazamientos relativos de 50 cm, meteorizada y moderadamente fracturada, consolidada, muy dura con extensión lineal de fracturas horizontales, mediana rugosidad y aberturas parcialmente abiertas rellenas con arenas media- fina aluvional. **b)** Superficie ondulada en arenisca fracturada y desplazada 5cm horizontalmente en dirección Este-Oeste, característica de una falla lateral derecha, en roca compacta con espaciados entre discontinuidades cada 20cm y abertura muy cerrada.

Continuando más hacia el Oeste se halla un corte de río compuesto de macizos columnares y erosionados de arenisca desplazados unos pocos centímetros con

discontinuidades horizontales, en las siguientes coordenadas UTM de N1311.942-E560.457, soportadas por suelo arcilloso de 3 m de espesor color verde oscuro.



Foto 15: **a)** Bloque rocoso de grauwaka columnar alterado y meteorizado, separado por discontinuidades verticales cada 2 cm, compacto con superficie ondulada y abertura parcialmente abierta sin relleno sobreyacida por suelo residual. **b)** Suelo arcilloso saturado de 30 cm de espesor, de color café-amarillento, subyacen a los macizos columnares, sin consolidar y deleznable.

Se aprecian arenisca intemperizadas y alteradas por donde filtra el agua y la meteorización esférica de éstas como se ve en la **Foto 16a**. A su vez, las waka se hallan suprayacidas por lutitas con estructura laminar, fracturas y en su techo por suelo residual de considerable espesor. La base de este afloramiento se entierra en el lecho del río.



Foto 16: **a)** Arenisca esférica subredondeada con alto grado de meteorización, fracturada y alterada, con baja resistencia a golpe del martillo de geólogo. **b)** Se aprecia un suelo arenoso, sobreyacida por arenisca y conglomerado aluvial que buzan y se entierran en el Río Jesús.

En una secuencia horizontal hacia el oeste, las arenisca se hallan en lamina, fracturadas, meteorizadas, y deleznable con estructura augen soportada por arcilla-limosa estratificadas intercaladas a unos 143 de altura y coordenadas N1311.933-E560.607. En su parte intermedia una arenisca color ceniza, inestable



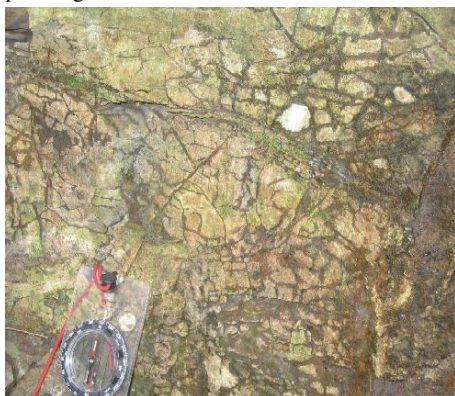
a)



b)

Foto 17: a) Waka con bajo grado de fracturación y ligeramente meteorizada, compacta e irregular con forma de ojo de color amarillento y abertura de grieta cerradas, casi verticales de poca extensión con baja rugosidad sin filtraciones de agua. b) Suelo arenoso suelto de color café, saturado y permeable, subyaciendo a las arenisca waka.

Se hallan arenisca con forma de cubos fragmentados en las coordenadas UTM de este sitio es N1311.939-E560.430, a unos 113 m de altura., con rumbo de S80°E/70°. Y soportados por conglomerados aluviales.



a)



b)

Foto 18: a) Superficie de trituración de areniscas alteradas, meteorizadas y fracturadas, formadas por fragmentos angulosos y alto contenido de finos como arcilla, con abertura cerrada de las grietas, baja rugosidad y mediana continuidad lineal, sin espacio definido entre discontinuidades. b) Fracturación intensa de la arenisca, con baja resistencia a golpe con martillo de geólogo, sin espaciado definido, ni planos de

estratificación, sin ninguna rugosidad, rellenas con arena y limo aluvial fino con alto grado de meteorización física.

Los conglomerados aluviales se hallan a unos 111m SNM en coordenadas UTM 1311.919-E560.579. Los fragmentos de arenisca mayores de 1 cm de diámetro, cementado con arena aluvial, tienen forma subangulosas, cortadas por fracturas lineales con 2 cm de separación espacio. Se encuentran subyaciendo las areniscas trituradas que afloran en este sitio



Foto 19: **a)** Conglomerado aluvial subanguloso de arenisca meteorizado con alto contenido de fino areno-limoso muy resistente, aberturas parcialmente abiertas y una continuidad de las grietas casi lineal sin espaciado definido de discontinuidad y con grano de variadas dimensiones. **b)** Conglomerados aluviales esferoidales, muy alterado y con alto grado de meteorización adoptando forma subredondeadas, cementadas y rellena con arcillas sin fracturación, muy resistente a golpes con el martillo de geólogo.

En las terminaciones del recorrido sobre el segmento Oeste del Río Jesús se observan estructuras lineales parecidas a columna vertebral de dirección Oeste-Este dentro del lecho del río formando canales de relleno de arenas aluviales finas.



Foto 20: Fracturación moderada casi vertical con 5 cm de separación una de otras en arenisca plegada con dirección Oeste-Este y dispuestas horizontalmente sobre el lecho fluvial de color gris, resistentes, con mediano grado de meteorización, con abertura parcialmente abierta semejante a un espinazo y a su vez formando canales de rellenos de sedimentos limosos

Se aprecian a unos 89 m de altura y coordenada UTM N1311.701-E560.457, areniscas formando estructuras semicirculares distorsionadas dentro del río que dan origen a un canal natural de caída de agua rellena con arena y limo fino.



Foto 21: Estructura de canal de relleno formado por areniscas fracturadas y meteorizadas, de baja resistencia rellena con arena media a fina de origen aluvial dentro del Río Jesús que suponen un leve levantamiento tectónico por falla geológica del cauce

Se considera como punto de control y medición el extremo Oeste final del río situado unos 115m SNM y coordenadas UTM N1311.721- E560.029 para determinar la zona la distancia de mayor expresión superficial o de la fase tectónica deformativa del tramo Oeste hacia el empalme del río y el camino a Los Sánchez ubicado a unos 138m SNM y coordenadas UTM de N1312.134-E560.633. Se obtuvo una longitud de 1.5km con una pendiente de 17°.

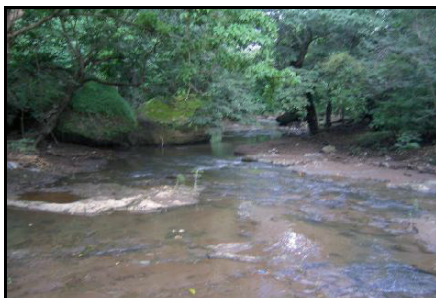


Foto 22: Llano aluvial del Río Jesús donde el campo de esfuerzo tectónico desaparece, en un fondo fluvial plano y uniforme de 25 m de ancho, 2° de inclinación, abundante vegetación, y agua superficiales tranquilas.

A unos 500 m de distancia en dirección Este a lo largo del río iniciando en empalme con el camino a los Sánchez se hallan arenisca meteorizadas, fracturadas horizontalmente y verticalmente, de color café y con matriz arcillosa dentro del lecho de la corriente de agua dispuesto en planos escalonados



a)



b)

Foto 23: a) Arenisca fracturada dispuesta en escalón y formando planos estructurales de color gris, meteorizada con espaciado entre discontinuidades de 30 cm, baja rugosidad y rellena con limo fino y arcilla-arenosa. **b)** Estructura en escalón de 50 cm de desplazamiento vertical en areniscas ligeramente meteorizada y alteradas, muy resistentes, rellena con limo-arcilloso favoreciendo la filtración de agua en éstas.

En el margen izquierdo del río a unos 50 m de distancia encontramos un macizo rocoso meteorizado con bloques irregular mayores a 1m de diámetro dispuestos casi horizontal, desplazados unos 30 cm de color café verduzco, indicando una falla listrica de plano curvo, compacto y deleznable suprayacida por un suelo residual de 4m de potencia. Esto se observan a unos 138 m SNM y coordenadas UTM N1312.118-E560.790.



Foto 24: **a)** bloque irregulares de arenisca, alterado y fracturado con baja resistencia al golpe con martillo de geólogo, alto grado de meteorización, sin espaciado definido entre discontinuidades, soportada por suelo arcilloso y sobreyacida por una cobertura vegetal. **b)** Macizo rocoso de arenisca irregular masiva muy alterada, fracturada, saturada y permeable; de color oscuro en su base esta siendo desplazado rotacionalmente por una falla de relajación debido a sobrecarga a través de un plano curvo.

En la fase terminal de este extremo Este del río tenemos a unos 111m de elevación y coordenadas UTM de N1312.085-E560.950 capas de arenisca con planos buzando 78° y rumbo $S40^\circ O$ dentro del lecho fluvial.

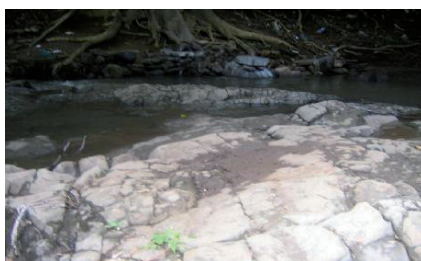


Foto 25: Grauwaka ligeramente meteorizada blanquecina y con mediano grado de fracturación, con disposición planar, espaciado de 30 cm entre discontinuidades, una continuidad lineal de grietas horizontales, con baja rugosidad y abertura abierta de 5cm de espacio, rellenas con arena aluvial fina café de 1 mm de diámetro haciendo posible la filtración de agua en éstas .

6.3 –Estación 3: Km. 51 Carretera San Rafael del Sur, Camino El Tamarindo hacia el Río Jordán.

Se hallan en el empalme del camino El Tamarindo con el Río Jordán arenisca waka de color rojizo-grisáceo dispuesta en capas inclinada y deformadas fuertemente, compacta de 30 cm de espesor en dirección Este con rumbo N30°O/65° e intercalada con lutitas de 2 cm. de espesor, subyacidas por láminas de ceniza plegada, y fracturada localizadas en las coordenadas UTM E5600036-N1311943 y E555.550-N1309.033. La arenisca masiva inclinada, compactas, coherentes e impermeables con orientación SE-NO. (Véase Columna Estratigráfica 3)



Foto 26: a) Macizo rocoso de arenisca tabular ligeramente plegado sin ningún grado de fracturación de color rojizo con baja rugosidad poco meteorizado con dirección SE-NO, con intercalaciones de lutitas. **b)** Lutita parcialmente alterado, plegado con baja fracturación y superficie de separación de 5 cm, deleznable y compacto.

Se observan estructuras de calco de cargas compuesta por capas de lutitas deformadas y diaclasadas y superficie de contacto entre ésta y la arenisca. Las superficies laminadas y onduladas de arcillas se deben al contacto entre arenisca suprayacentes sobre éstas. La arcilla porosa es menos densa que la arenisca, y la distribución desigual de carga hace que la roca suprayacente se hunda sobre el sedimento arcilloso. A medida que es expulsada el agua, se compacta la arcilla en forma progresiva y sufre distorsiones debajo de la menos plástica roca suprayacente.

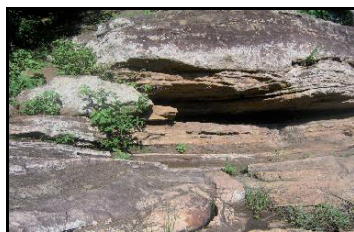


Foto 27: Arenisca tabular con baja rugosidad ligeramente plegada, muy dura de 1.5 m de potencia de color rojizo y meteorizada subyacente por lutita laminada y plegada, moderadamente meteorizada, deleznable e inconsolidada, soportado por lutitas interestratificadas de color amarillento, incoherentes, impermeables, deformadas dispuesta casi horizontalmente.

Estos saltos en la morfología del canal del río indican un control estructural por fallas lateral izquierdo que modifica el curso natural del Río Jordán y reduce la velocidad de la corriente de agua. (Véase Foto 28)



Foto 28: Plano escalonado de arenisca waka resistente de 50 cm de desplazamiento casi vertical semejante a una falla normal ligeramente meteorizada con dirección Este – Oeste siguiendo el curso del Río Jesús, originando salto de agua que disminuyen la energía cinética del caudal y propicia la sedimentación de limo aluvial en época seca.



a)



b)

Foto 29: a) Capas de lutitas intercalada de cenizas, moderadamente meteorizadas con baja rugosidad, poco resistente a golpes con martillo de geólogo y decolorada. b) Lutita estratificada meteorizada con ligeras curvaturas en dirección NE rellena con arena fina de color café.

Aquí mismo se muestran fallas de relajación productos de la caídas de bloques de 1m o más de diámetro, con zonas de derrumbes en la zonas de arriba. Estas se forman cuando el sedimento todavía esta blando, debido a que la carga sedimentaria es muy grande y las capas inferiores no soportan el peso, por lo que se desploman por gravedad. Los estratos buzan N40°E/70°.



a)



b)



c)

Foto 30: a) Bloques irregulares de arenisca ligeramente meteorizado y fracturados, muy duros y baja rugosidad, masivo producto de desprendimiento consecutivos. b) Macizo rocoso fracturado y meteorizado de color amarillento, compacta y baja rugosidad; c) y abertura de grietas parcialmente abiertas sin espaciado definido por discontinuidades.

Las areniscas se disponen paralelas al río ligeramente plegadas bajo influencia de regímenes tectónicos de fallas verticales y sinestrales que modifican el curso de las corrientes de agua superficial. Los desplazamientos son del orden de 5 cm.



Foto 31: Arenisca plegada y fracturada ligeramente meteorizada muy resistentes desplazados 5 cm horizontalmente con abertura cerrada de extensión superficial lineal y ondulación de superficies de discontinuidad.

Otra de las complicaciones estructurales característico de rocas metamórficas lo constituye el boudinage. Surge por diferencias físico-mecánicas de las secuencias de rocas que son afectadas por metamorfismo. Cuando en un paquete de rocas arcillosas se encuentran horizontes de arenisca con la tendencia de partirse en pedazos a expensas de las tensiones tectónicas y separadas unas de otras en forma de lentes.

En el proceso de intenso plegamiento, acompañante del metamorfismo regional, las areniscas resultan plegadas y fuertemente contorsionadas como se indica en la foto 32 a y b.

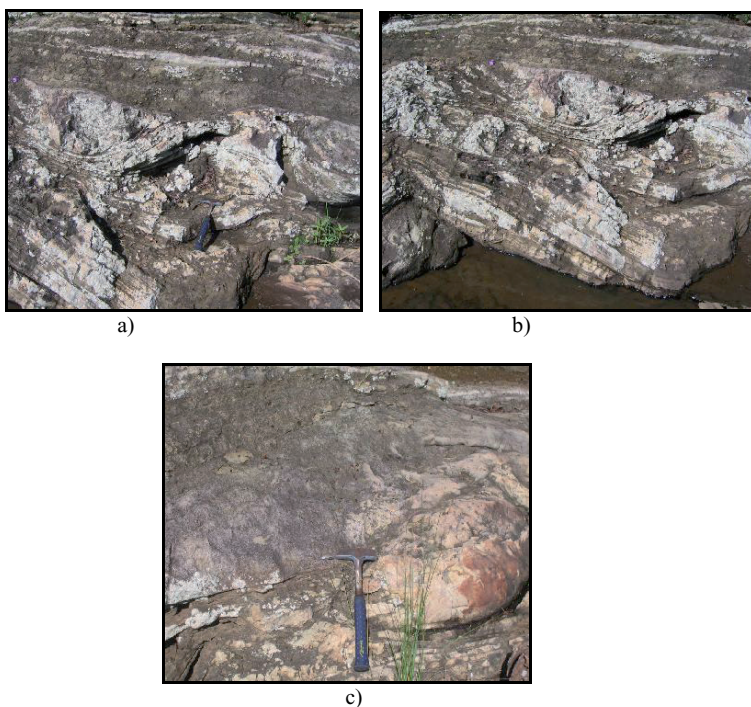
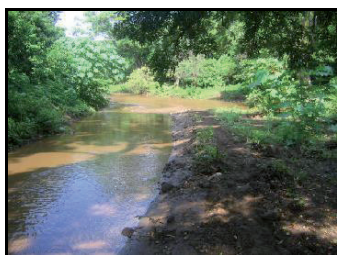


Foto 32: **a)** Macizo rocoso plegado y fracturado muy resistente y meteorizado forma boudinage con superficies de rugosidad alto. **b)** Estructura tabular de arenisca alterada con superficie de estratificación que se entierra en el Río Jesús y formas de cucharas y boundinage. **c)** Se observa una superficie de contacto litológico dentro del mismo macizo rocoso que se refleja en los lados del martillo de geólogo.

En dirección Oeste del Río Jordán se muestran suelos arenosos medio a fino de color café de llanura aluvial de caudal tranquilo (laminar) con pendiente de 3° y abundante vegetación con un ancho de 25 m y 1m de profundidad. Encontramos aglomerados volcánicos de andesitas angulosas a subangulosas. No existe evidencia de fallamiento geológico. El relieve es de terreno plano aluvial con espesor de 30 cm.



a)



b)

Foto 33: **a)** Plano aluvial de arena y limo fino con pendiente de 3°, abundante vegetación y corrientes de aguas superficiales lodosas y tranquilas sin evidencia de fallas geológicas. **b)** Bifurcación del caudal fluvial como resultado montículos aluvial dentro del río, que reduce la velocidad de la corriente de agua superficial y favorece la acumulación progresiva lateralmente dentro del canal.

VII- SISMICIDAD LOCAL

El área Noroeste de San Rafael del Sur se halla ubicado en una zona con alto grado de sismicidad como lo demuestra la Tabla 3, la cual presenta y detalla los epicentros de sismos recién ocurridos (período 2000 – 2002) en dicha zona, totalizando 24 sismos con magnitudes comprendida en un rango de 2.3 – 3.8 ML y profundidades entre 0 - 18.5 km, todo asociado a la actividad de fallas geológicas cercanas al sitio investigado.

En el mapa 2, se muestra una distribución lineal de los epicentros con 6 Km. de longitud en dirección SO-NE afectando las comunidades de El Tamarindo, Los Jaras, Gutiérrez Norte, Los Sánchez Norte y San Rafael del Sur, en una extensión de 24 km². (Véase Mapa 2) (Véase perfil geológico NO – SE : Quebrada Ojochalito – Camino San Pablo)

Tabla 3: Información sismológica tabulada con indicación de fecha y hora de ocurrencia, coordenadas de latitud y longitud, profundidad focal y magnitud para eventos ocurrido entre 2000 – 2002 en el área Noroeste de San Rafael del Sur.⁽¹⁾

Año	Mes	Día	Hora	Minuto	Segundo	Latitud	Longitud	Profundidad	Mag*
2000	12	16	21	29	33.5 L	11.815	86.463	16.5 SNIC	3.0 CNIC
2000	12	16	21	36	1.1 L	11.853	86.465	0.1 SNIC	3.3 CNIC
2000	12	17	03	13	36.9 L	11.786	86.522	18.5 SNIC	2.3 CNIC
2001	4	21	09	47	51.0 L	11.850	86.467	2.0 SNIC	3.2 CNIC
2001	4	21	09	50	8.1 L	11.838	86.472	0.1 SNIC	3.7 LNIC
2001	4	21	10	05	41.4 L	11.782	86.500	15.9 SNIC	2.5 CNIC
2001	4	21	10	15	46.9 L	11.888	86.458	8.9 SNIC	3.3 CNIC
2001	4	21	10	35	26.7 L	11.859	86.457	0.4 SNIC	2.7 CNIC
2001	4	21	10	54	19.6 L	11.798	86.468	10.8 SNIC	2.7 CNIC
2001	4	21	17	58	2.1 L	11.837	86.467	0.0 SNIC	2.7 CNIC
2001	4	21	20	54	7.8 L	11.785	86.499	2.0 SNIC	2.8 CNIC
2001	4	21	21	42	4.9 L	11.835	86.489	0.0 SNIC	2.6 CNIC
2001	5	11	09	34	40.7 L	11.860	86.459	1.1 SNIC	3.0 CNIC
2001	5	24	02	14	7.3 L	11.857	86.463	1.1 SNIC	3.1 CNIC
2001	5	24	02	18	48.3 L	11.863	86.462	6.0 SNIC	2.9 CNIC
2001	5	24	23	00	21.3 L	11.816	86.489	3.7 SNIC	3.8 CNIC
2001	6	2	13	44	55.5 L	11.872	86.448	0.0 SNIC	2.8 CNIC
2001	6	4	16	25	5.0 L	11.841	86.469	0.0 SNIC	2.8 CNIC
2002	5	20	02	12	39.7 L	11.833	86.479	8.5 FNIC	3.0 CNIC
2002	5	20	02	27	0.5 L	11.854	86.464	8.0 FNIC	3.2 CNIC
2002	5	20	05	05	34.5 L	11.884	86.429	1.1 FNIC	3.0 CNIC
2002	6	8	20	10	53.5 L	11.874	86.462	4.8 FNIC	3.8 CNIC
2002	6	8	20	24	15.3 L	11.854	86.466	4.2 FNIC	3.5 CNIC
2002	6	21	22	16	34.1 L	11.826	86.495	7.7 FNIC	3.0 CNIC

(*) C magnitud coda en función de la duración

L magnitud local en función de Amplitud y período de la onda S

Cuadro1: Comparación de la Magnitud Coda y Magnitud Local empleada en los sismogramas del sitio estudiado.

Magnitud Coda	Magnitud Local
1. Define el tamaño relativo del sismo, en función de la duración de registro y considerando la amplitud del ruido de fondo previo y al final.	1. Considera la mayor amplitud de la fase S determinada de los componentes horizontales.
2. Utiliza una red sísmica densa y de pequeña área.	2. Utiliza un red sísmica moderadamente densa y de pequeña área.
1. Trabaja con sismo no violento de magnitud menor a 4.0 en relación con la escala de Richter.	2. Los sismos a evaluar tienen Mc mayor que 4 con relación a la escala Richter.
4. $Mc = A \cdot \log(coda) + B \cdot dist + C$; Donde: Mc: Valor de Magnitud Coda: duración de registro. dist.: dist. Hipocentral A, B y C: Constante a determinarse	4. $ML = a \cdot \log(amp) + b \cdot \log(dist) + c \cdot dist + d$; Donde: ML: magnitud L amp: amplitud máxima del suelo en nm dist.: distancia hipocentral a, b, c: constantes.

Por otra parte, los cálculos estadísticos realizados por el autor, a través del método de Poisson descrito en el anexo 3 para el Municipio de San Rafael del Sur y alrededores referente a sismos ocurrido en periodo de 2000 – 2002 de magnitudes mayor a 3, estiman una frecuencia o tasa media cuyo valor (obtenido) es $K = 6/3=2$ (dato obtenidos a partir de sismos con magnitudes de 3, 3.2, 3.3, 3.5, 3.7 y 3.8 °R) y la probabilidad de ocurrencia en el intervalo de 5 años un evento con mayor a 3 es 6%.

Esto indica que un sismo con tales características es mínima su posible ocurrencia. Sin embargo, la probabilidad de que ocurra al menos un evento de magnitud mayor a 3, en el mismo intervalo es 99.954%; es decir, existe un 99.954% de probabilidad de que magnitudes por encima de 3 °R sea excedida en promedio cada año

7.1- Características estructurales obtenidas de mecanismos focales para el sitio de estudio⁽¹¹⁾

Los mecanismos focales permiten conocer el estilo de ruptura de una falla geológica o una fuente sísmica y la dinámica actual de la zona epicentral. Asimismo, permite inferir características propias de dicha falla tales como, posición espacial, ángulos de buzamiento, estilo estructural, dirección y tipo de esfuerzos actuantes cercanos a epicentros. Para el caso del área al Noroeste de San Rafael del Sur estos aspectos se presentan en la Tabla 4 y Figura 4

Figura 4							
	Eventos sísmicos	LOCALIZACIÓN EPICENTRAL		Rumbo	Buzamiento	Deslizamiento	Tipo de ruptura
		Coordenadas en UTM					
SAN RAFAEL DEL SUR (2001-2002)	1(I)	556204.9977	1308692.0167	276°	72°	9°	Rumbo lateral izquierdo
	2	558060.5673	1306705.0343	25°	90°	15°	Rumbo lateral izquierdo
	3	557625.0360	1306593.6261	296°	82°	12°	Rumbo lateral izquierdo
	4	556642.3553	1307808.1773	318°	46°	54°	Inverso
	5(II)	557728.3082	1309579.5218	271°	72°	9°	Rumbo lateral izquierdo
	6(III)	558163.5843	1309801.5148	277°	73°	10°	Rumbo lateral izquierdo
	7(IV)	558814.9882	1310908.5866	270°	80°	-1.8	Rumbo lateral izquierdo
	8	567890.9491	1343328.8289	290°	80°	-90°	Normal
	9(V)	556750.6677	1308140.1230	220°	10°	-90°	Normal
	10(VI)	558380.1577	1310465.4205	315°	65°	-90°	Rumbo lateral derecho
	11(VII)	559466.1266	1312126.2569	229°	76°	-5°	Rumbo lateral izquierdo
	12	558593.7316	1312677.4692	266°	79°	-44°	Rumbo lateral izquierdo

	13	558162.3143	1310465.0026	262°	46°	55°	Inverso
	14	555009.1917	1307362.8583	145°	7°	-45°	¿??

Tabla 4: Datos geológicos estructurales deducidos de mecanismos focales obtenidos de registros sísmológicos instrumentales para sismos ocurridos en las vicinidades de San Rafael del Sur comprendida entre los años del 2001 – 2002. El numero en romano el indica el tipo de esfera focal de donde proceden los datos estructurales ⁽¹¹⁾. Los sismos en negritas son epicentros que afectan San Rafael del Sur, el resto corresponde a otra zona.

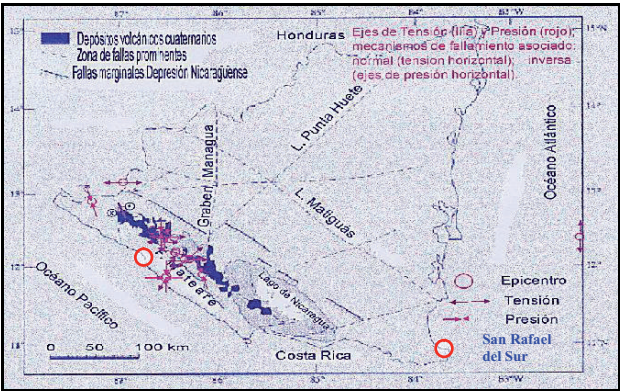


Figura 4: Estado tensional de Nicaragua (San Rafael del Sur) ⁽¹³⁾

7.2- Estilos de ruptura en San Rafael del Sur

En las figuras siguientes se muestran mecanismo de sismos ocurridos en período 2000 – 2002. Estos se hallan asociadas a fallas geológicas, de magnitud del orden de ML > 2 en un ambiente geológico donde existe un alto grado de fracturamiento y longitud de fallas de varios kilómetros (véase perfil geológico NO – SE: Loma Los Chocoyos – Los Hurtados). Los ejes de presión y tensión favorecen el fallamiento inverso y normal respectivamente. Esto contribuye a la disipación de la energía de deformación en el sector de El Tamarindo y Los Jaras.

La información gráfica obtenida instrumentalmente para los puntos 1, 5, 6, 7, 9, 10 y 11 de la tabla anterior señala zonas de compresiones por círculos negros y dilataciones por círculos abiertos ⁽¹¹⁾.

En el acápite de Sismicidad Local, se indicaba una profundidad máxima para los epicentro de 8.9 km. De acuerdo con las registros de los mecanismos focales se tiene direcciones esfuerzo tectónico resultado de fallas laterales izquierdas oculta como se resumen en la **tabla 4, Figura 5 y Mapa 2.** ⁽¹¹⁾

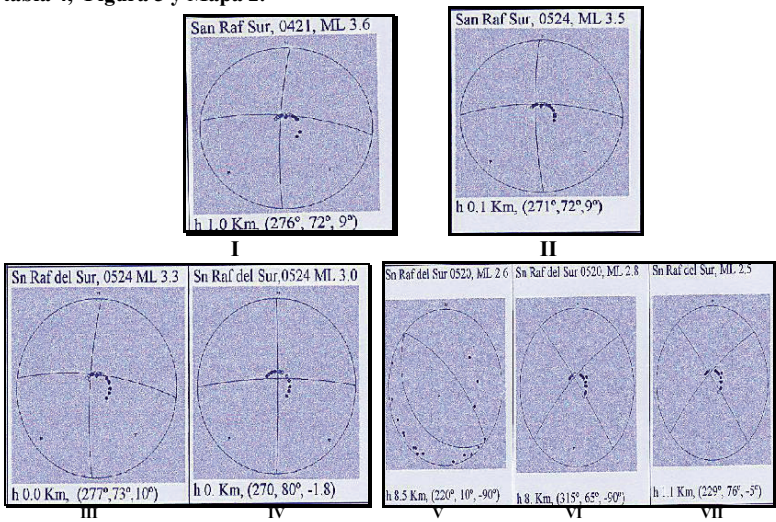


Figura 5: Mecanismos focales de sismos ocurridos entre 2000-2002 en el entorno de San Rafael del Sur, conformado por las Comunidades de Los Jaras, El Tamarindo, Gutiérrez Norte, Los Sánchez Norte y San Rafael del Sur. Se han diferenciado distintos tipos de mecanismos para cada sismo. Se señala la dirección de esfuerzo tectónico. El número romano muestra en la **tabla 4** las características estructurales de los sismos correspondientes ⁽¹¹⁾

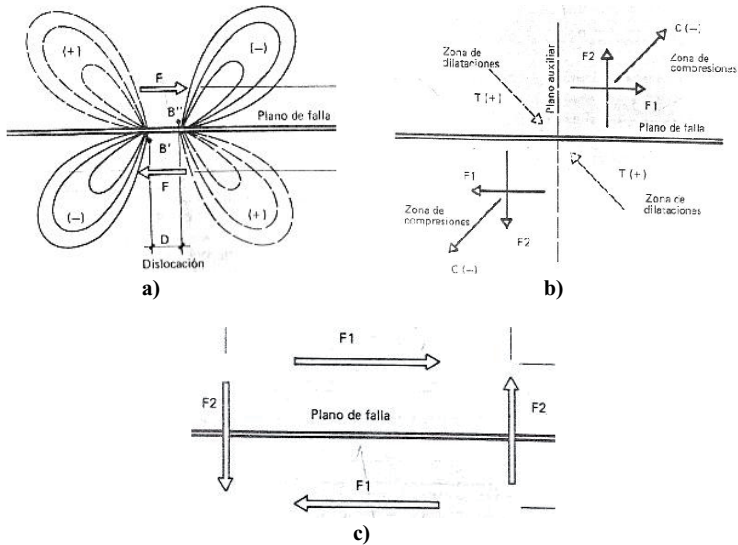
Cuadro2: Comparación de Método estructurales empleados
en los Mecanismos Focales de San Rafael del Sur.

Esfera Focal	Proyección Estereográfica
1. Representa un doble par de fuerza equivalente y dos dipolos perpendiculares a 45°: uno de compresión y otro de tensión. (Véase Esquema 1)	1. Representa un número considerable de datos estadísticos(rumbo y buzamiento de elementos estructurales) medidos en el campo
2. Divide en 4 cuadrantes de signo alterno: dilatación(+) y compresión(-) una esfera con radio la unidad y de material homogéneo con centro en el foco. Utiliza principios de proyección estereográfica.	2. Conformado por dos sistemas de ejes: paralelos (EO) y meridianos (NS) que dividen una esfera en dos partes iguales.
3. Se halla constituida por un plano de Falla y un plano ecuatorial. Las dimensiones son pequeñas en comparación con la distancia del punto de observación y con la longitud de las ondas empleadas en su determinación.	3. Se clasifican en 2: Falsilla de Smith y Falsilla de Wulff. Ésta última la más usada por: a) Mantener constantes relaciones angulares de la figura proyectada y la proyección. b) Concebir los planos y líneas de forma recta, sin ondulaciones y continuos en el espacio que se analiza.
4. Se obtienen de su uso, el tipo de falla o esfuerzo dominante; la orientación del plano de falla y datos estructurales; efectos de la ruptura in situ.	4. Se obtienen de su empleo, la dirección del esfuerzo predominante y elementos posicionales regionales o locales.

Nota:

1. Las estaciones sismográficas se localizan sobre una esfera con foco como centro y un plano ecuatorial.
2. Según se sitúe la estación que registra las ondas sísmicas en relación con la fuente sísmica o el cuadrante en que esta localizada, así se registrará en el sismograma el primer.

3. Las dilataciones y compresiones proyectadas en el plano horizontal se divide 4 cuadrantes con sentido horario y símbolo asignado.
4. Se considera 4 o más estaciones sísmica por ser parte de 4 fuerzas equivalentes en una esfera focal. Si se considera una estación sísmica se esta tomando un cuadrante de la esfera total con datos incompletos y muy localizados sin cobertura al sitio de estudio

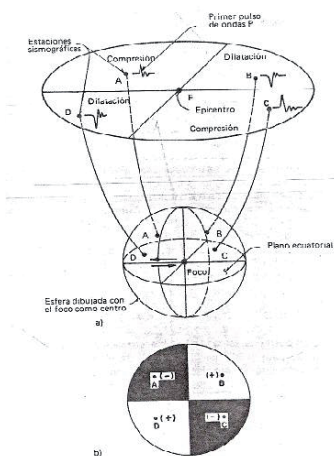


Esquema 1: a) Par de Fuerza F produce zonas de compresión y dilatación. b) Equivalencia entre un doble par de fuerzas y dos dipolos perpendiculares a 45° con el plano de falla: uno de compresión y otro de dilatación. c) Esfuerzo de cizalla que actúan a ambos lados de la falla produciendo deformación y desplazamiento relativo.

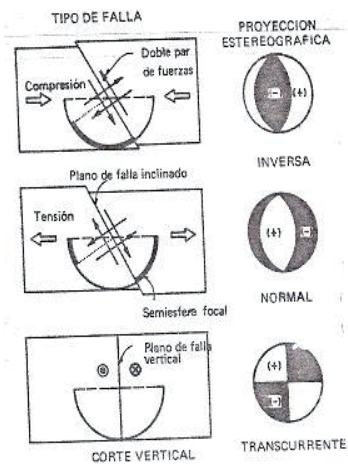
7.3.- Procedimiento de cálculo de características estructurales a partir de

Mecanismos Focales presentados en la Tabla 4 y Figura 5

1. En principio, se consideró el desplazamiento del primer pulso de las ondas P registrado en los sismogramas correspondiente a San Rafael del Sur. (**Véase Esquema 2**)
2. Luego, se dividió el sismograma en zonas de compresión (-) y dilatación (+). Las primeras en dirección hacia arriba respecto a la posición neutra y las segundas hacia abajo en función de la disposición del sismógrafo ubicado de la estaciones sismológicas.
3. Posteriormente, se asignaron símbolos a cada esfuerzo actuante: Compresiones (círculos negro) y Dilataciones (círculos blancos).
4. Después, se separó compresiones y dilataciones por planos ortogonales, uno correspondiente al plano de falla y otro al plano ecuatorial tomando en cuenta el tipo de esfuerzo actuante y la dirección de los ejes de éstos.
5. Se tomó en cuenta, la longitud de una línea recta que va del origen de las coordenadas hasta la curva en una dirección dada, indicando la amplitud de Ondas P generados en a ruptura en esa dirección. El efecto total es el conocido patrón de radiación, el cual está representado por curvas en forma de trébol; cada hoja del trébol corresponde a un tipo de onda sísmica; uno de tipo compresional (ondas P) y otro de tipo cizalla (onda S).
6. Finalmente, se obtuvo datos estructurales de fallas geológicas locales y características sísmicas de epicentros ocurridos entre 2000 – 2002 para el sitio estudiado.



a)

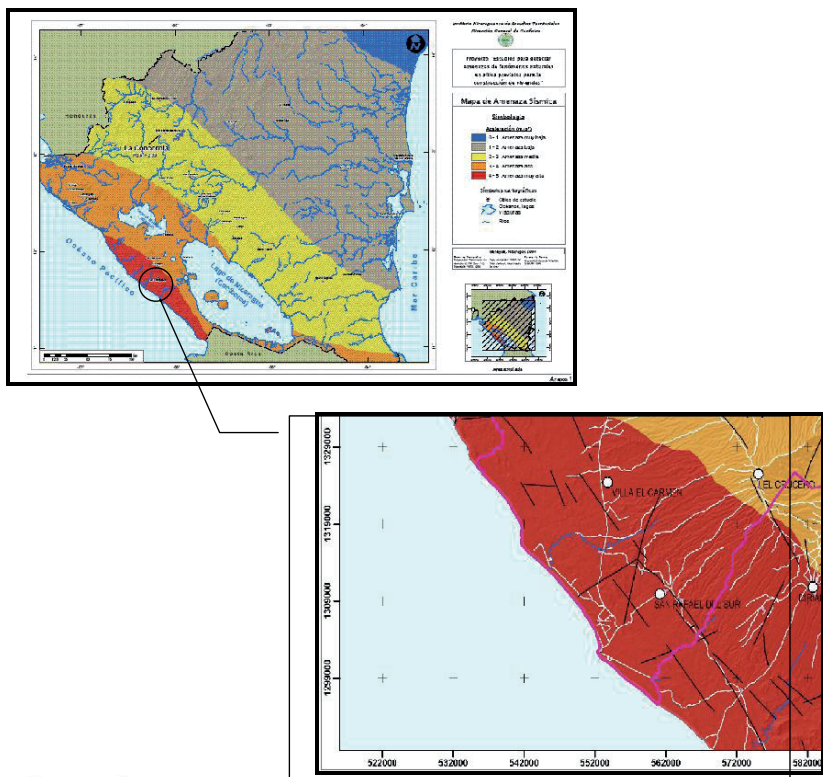


b)

Esquema 2: a) Esfera focal y proyección en un plano horizontal de las zonas de compresión y dilatación. **b)** Tipo característicos de fallas geológicas y semiesfera focal inferior proyectada sobre un plano horizontal.

VIII- INTENSIDAD DEL MOVIMIENTO SISMICO DEL SUELO EN EL AREA NOROESTE DE SAN RAFAEL DEL SUR Y ALREDEDORES

En la Figura 6 se muestra el Mapa de Amenaza Sísmica de la República de Nicaragua calculado en 1999 por GSHAP (Global Seismic Hazard Assessment Program) para un período de 50 años con excedencia del 10% que corresponde a un período de retorno de 475 años. Escala 1: 107,500. Modificado por la Dirección General de Geofísica 15/08/2005. San Rafael del Sur está situado en la Zona Roja con valores de aceleración del suelo de $4.0 - 4.5 \text{ m/seg}^2$ clasificándose como una zona de amenaza sísmica alta.



Leyenda

Máxima aceleración del suelo esperada en 50 años con 10% de excedencia



	Vías
	Fallas

8.1- Registros instrumentales de aceleraciones sísmica en la Cementera Cemex de San Rafael del Sur, Managua.

En la Tabla 5, se presentan parámetros sísmicos del Proyecto “Ampliación de la Planta de Cemento” en San Rafael del Sur, determinados por Zapata R. y M Duarte (1985). Esta información sísmica es interés al ingeniero civil al momento de proyectar obras urbanas.

Se determina el peligro sísmico a partir del estudio de terremotos históricos ocurridos en este lugar, empleando la Ecuación de Atenuación de Donovan (1974)¹ para dichos cálculos. Los resultados se muestran en la Tabla 5⁽¹⁶⁾

Se registró un total de 63 terremotos cuyas magnitudes varían entre 5 – 7.3 (° R) Mb, distancia focal de 37 – 143 km y aceleraciones horizontal del suelo de 0.02 – 0.16 g. Todos provenientes de la zona de subducción.

Tabla 5: Cálculo de Aceleraciones del suelo en San Rafael del Sur, empleando la Ecuación de Atenuación de Donovan (1974)¹.⁽¹⁶⁾

Terremoto N°	Magnitud(Mb)	Dist. Hipoc.(km)	Aceleración(g)
1	5.6	56	0.05
2	5.6	54	0.05
3	6.4	54	0.08
4	5.6	54	0.05
5	7.3	68	0.11
6	7.3	141	0.05
7	5.6	58	0.05
8	---	---	---
9	---	---	---
10	5.6	37	0.08
11	---	---	---
12	---	---	---
13	---	---	---
14	---	---	---
15	7.2	52	0.13
16	5.6	54	0.05
17	5.6	44	0.07
18	6.8	139	0.04
19	5.6	60	0.05
20	5.6	66	0.05
21	6.5	72	0.07
22	6.4	49	0.09
23	6.0	50	0.07
24	5.6	51	0.06
25	5.8	52	0.06
26	5.1	53	0.04
27	5.9	54	0.07

28	5.6	85	0.04
29	5.7	73	0.04
30	6.8	63	0.09
31	5.95**	67.5	0.06
32	5.1	72	0.03
33	5.7	66	0.05
34	5.9	58	0.06
35	---*	---*	---*
36	---*	---*	---*
37	5.1	56	0.04
38	7.3	143	0.05
39	7.1	40	0.16
40	6.35**	44.5	0.11
41	5.6	49	0.06
42	6.0	62	0.06
43	6.2**	56	0.075
44	6.4	50	0.09
45	5.3	41	0.06
46	5.6	73	0.04
47	5.6	72	0.04
48	5.9**	114	0.03
49	6.2	156	0.02
50	5.6	66	0.05
51	5.1	37	0.06
52	5.4	62	0.04
53	5.9	60	0.06
54	5.65**	76.5	0.045
55	5.4	93	0.03
56	5.1	115	0.02
57	5.3	71	0.04
58	5.0	73	0.03
59	5.1	86	0.03
60	5.0	102	0.02
61	5.5	66	0.05
62	5.0	109	0.02
63	5.0	80	0.03

* Corresponde a valores de Magnitud (Mb), Distancia Hipocentral (Km) y Aceleración (número de la columna por g, aceleración de la gravedad) no determinada por método de interpolación debido a su espaciamiento corto o lejano con los otros datos de la tabla.

**Resulta de datos de Magnitud (Mb), Distancia Hipocentral (Kms) y Aceleración (g's) obtenidos por método de interpolación debido a su cercanía con los demás valores de la tabla.

¹ La relación entre la aceleración, magnitud y distancia es la dada por Donovan (1974):

$$A \text{ (cm/s}^2\text{)} = 1080 e^{0.5xMb}/(R + 25)^{1.32}$$

Mb: Magnitud Richter para ondas de cuerpo (en inglés body)

R: Distancia Hipocentral en Km.

e: función exponencial

8.2- Comportamiento futuro de las aceleraciones sísmicas determinadas por la Cementera Cemex para San Rafael del Sur

Considerando las aceleraciones obtenidas del Proyecto “Ampliación de la planta de Cemento” en San Rafael del Sur, se graficó las lecturas de aceleración del suelo vs. Periodo de Recurrencia, cuyos resultados se presentan en la Tabla 6 y Figura 7⁽¹⁶⁾

Tabla 6.- Periodo de recurrencia de Aceleraciones Máximas del suelo a producirse en San Rafael del Sur⁽¹⁶⁾

Período de recurrencia (años)	5	10	25	50	100	250	500
Aceleración máxima horizontal del suelo (g's)	0.05	0.08	0.12	0.15	0.17	0.21	0.24

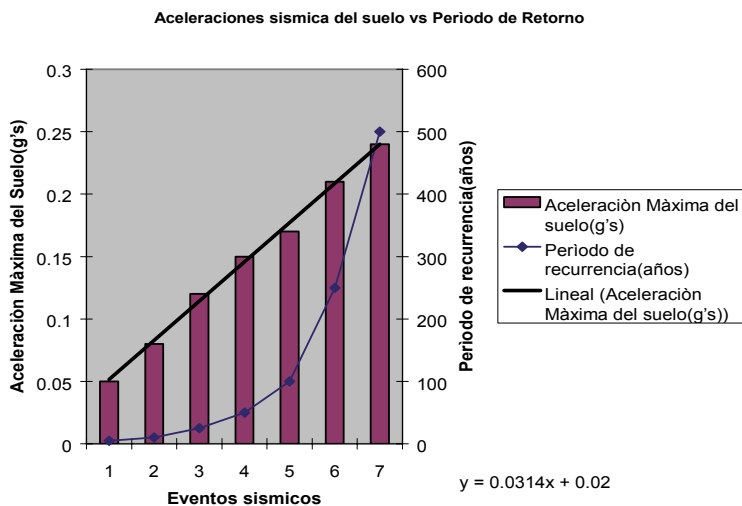


Figura 7: Acercación Sísmica del Terreno en Función del Período de Recurrencia. Se aprecia un crecimiento exponencial de parámetros sísmicos debido a condiciones locales del subsuelo, cercanía a la fuente sísmogeneradora, duración de la fase intensa del movimiento, topografía, y parámetros dinámicos que definen el hipocentro (profundidad focal, magnitud sísmica, distancia epicentral, posición espacial y temporal de los epicentros). La ecuación de la pendiente en esta curva es $y = 0.0314x + 0.02$

El tratamiento matemático que explica el comportamiento del suelo se describe mediante el proceso de Poisson que se detalla en el anexo 3.1, el cual es:

$$(1-p)^n = 1 - P_n \text{ de donde despejamos } p = 1 - (1-P_n)^{1/n}$$

Haciendo uso de la ecuación de Período de Retorno:

$P_r = 1/p$ se introduce la fórmula anterior en esta, tenemos lo siguiente:

$$P_r = 1 / 1 - (1-P_n)^{1/n}$$

Dando como resultado, valores que se presenta en el Cuadro 3:

Cuadro3: Valores de probabilidad de excedencia (p) en el sitio de estudio

Acercación(g/s)	0.05	0.08	0.12	0.15	0.17	0.21	0.24
Período de recurrencia(años)	5	10	25	50	100	250	500
P (%)	20	10	4	2	1	0.4	0.2

Tomando los valores porcentuales de 20, 10, 4, 2, 1, 0.4 y 0.2%; obtenemos los siguientes resultados porcentuales de probabilidad de excedencia presentados en el Cuadro 4:

Cuadro4: Datos de probabilidades de excedencias en el sitio de estudio.

Período de recurrencia(años)	5	10	25	50	100	250	500
P (%)	20	10	4	2	1	0.4	0.2
Pn (%)	67.232	65.1	63.96	63.58	63.4	63.28	63.25

Esto conduce a concluir que existe un 67% de que la aceleración 0.05 g sea excedida cada 5 años; y así sucesivamente para cada uno de valores de aceleración obtenidos.

Esto nos dice que a mayor tiempo de recurrencia tendremos mayores magnitudes y duración de la fase de movimiento intenso de sismos como se indica en la tabla 5

Por otra parte, se observa gráficamente que para periodo de retornos bajos la aceleración crece inversamente proporcional de 0.05 a 0.17 veces, permaneciendo constante en forma de meseta, hasta llegar al punto de inflexión. Después de este punto de inflexión notamos que la aceleración describe un semi - parábola que crece exponencialmente con el tiempo.

Los periodo de retorno para los cuales se produce aceleraciones entre 0.05 – 0.27g, significa que construcciones por debajo de estos valores presentan mayor peligro sísmico siendo justificada en terreno firme.

Las aceleraciones máximas extremas son, 0.05, mínimas y 0.24, máximas siguiendo la curva $y = 0.0314x + 0.02$

IX- VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL ANTE SISMOS EN EL AREA NOROESTE DE SAN RAFAEL DEL SUR

Los estudios de peligro sísmico aplicados a la planificación urbana y a la protección civil precisan la información relativa al uso y tipología constructiva de las edificaciones, aspectos básicos para la prevención y adopción de medidas de mitigación en caso de sismos (**véase Tabla 7 y Tabla 8**). Esto permite conocer qué zonas pueden verse seriamente afectados, aspectos importante en actuaciones técnicas, acciones sociales, informativas, educativas y de gestión. (**Véase Mapa 4**)

Para el caso de San Rafael del Sur, los tipos más comunes de materiales de construcción utilizados en la edificación de las viviendas del casco urbano se hallan conformadas por bloque de concreto o minifalda (concreto y madera), bloque de concreto o minifalda (metal y concreto) y bloque de cemento.

No obstante, en la muestra estudiada de la **Tabla 7.2 y Gráficos 7.2**, el material de construcción con el mayor porcentaje resultó ser el bloque de concreto o minifalda (concreto y madera) con un 91% para la municipalidad. (**Véase Foto 34-35**)

De las 204 edificaciones evaluadas en área urbana de San Rafael del Sur, se encontraron: 180 residencias familiares, 6 centros educativos, 4 centros religiosos y otras estructuras menores. Estos resultados se ilustran en la **Tabla 7 y Gráfico 7**.

Particularmente, las viviendas familiares se hallan constituidas en su mayoría por techo de zinc en un 88%, paredes de bloques de concreto o minifaldas (concreto y madera) con 91% y piso de tierra, embaledado o de ladrillo tradicional con 90% como se indican en las **Tablas 7.1; 7.2 y 7.3**.

San Rafael del Sur cuenta con una carretera principal en buen estado cercano al centro urbano, lo que favorece una rápida evacuación o traslado de heridos o enfermos a hospitales y centros asistenciales en caso de sismo. A su vez, facilita que el apoyo logístico esté focalizado en una única zona de afectación y los servicios básicos de alojamiento, alimentación y medicamentos se han distribuido proporcionalmente, mejorando la funcionalidad de la estructura social local.

Con base a la correlación geológica, sísmica y geoestructural con datos estadísticos de materiales constructivos en edificaciones locales presentados en tablas y gráficos elaborados en EXCEL se ha asignado el nivel de **vulnerabilidad estructural Bajo** para la comunidad de San Rafael del Sur.

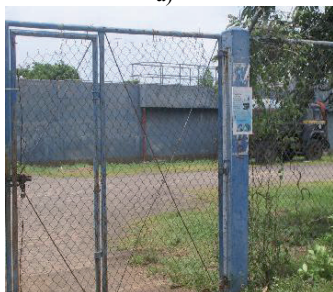
- **Foto 34:** Edificios de Servicios Público, tales como Subestación eléctrica**(a)**, Centro de Abastecimiento de Agua **(b)**, hospitales, centrales de comunicación, oficinas de correos **(c)**, gasolineras**(d)**, alcaldía municipal, central de policía, etc.



a)



c)



b)

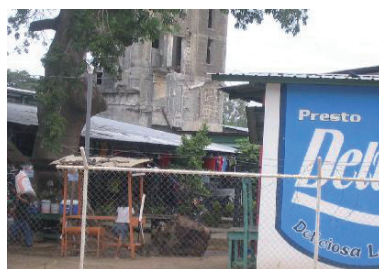


d)

- **Foto 35:** Edificios de uso público con elevado factor de ocupación, tales como Iglesias **(a)**, Bibliotecas **(b)**, Mercados Abiertos**(c)**, edificios industriales**(d)**, edificios comerciales, estructuras cuyo colapso pueda poner en peligros otras. Es decir, sitios donde existe frecuentemente aglomeración de personas, el grado de peligro de colapso es mayor con los sismos.



a)



c)



b)



d)

Tabla 7: Se observa el predominio en la muestra, el predominio de residencias familiares evaluadas de acuerdo a su uso constructivo, con un porcentaje representativo de 88%.

USO DE LAS EDIFICACIONES	CANTIDAD	PORCENTAJES
*Centro Educativos	6	2.98
Campo Deportivo	4	1.96
*Fábrica de Cemento	1	0.49
Estaciones de Combustible	2	0.98
*Residencia familiar	180	88.2
*Centro religiosos	4	1.96
Parques recreativos	2	0.98
Mercado abierto	1	0.49
Biblioteca	1	0.49
Correos de Nicaragua (ENITEL)	1	0.49
Subestación eléctrica	1	0.49
Planta aguadora	1	0.49
TOTAL	204	100

*: Edificaciones seleccionadas para efectos de comparación con estructuras de comunidades aledañas.
 En cada caso los datos estadístico de materiales constructivos se obtiene de forma independiente en cada tabla presentada en este documento.

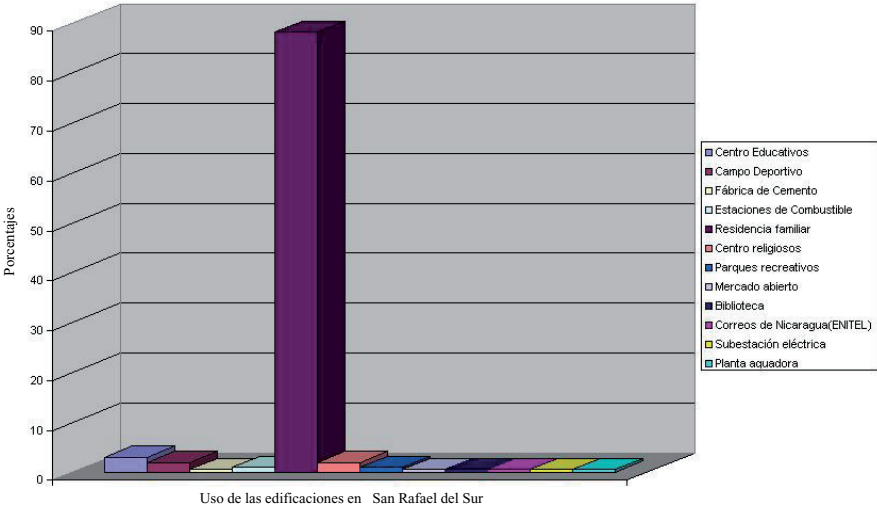


Gráfico 7: Clasificación de las construcciones en San Rafael del Sur conforme a su uso constructivo.

Las nuevas y modernas edificaciones en San Rafael del Sur están creciendo con este tipo de techo en sus construcciones, el 97% de la muestra analizada en este estudio resultó ser de este techumbre.

Tabla 7.1: En el casco urbano de esta ciudad, las construcciones se caracterizan por utilizar techo ligero, con 97%, desde edificaciones de menor a mayor tamaño.

TIPO DE TECHO EN LAS EDIFICACIONES	CANTIDAD	PORCENTAJE
Zinc(ligero)	193	97.5
Nicalit(pesado)	4	2
Otros	1	0.5
TOTAL	198	100

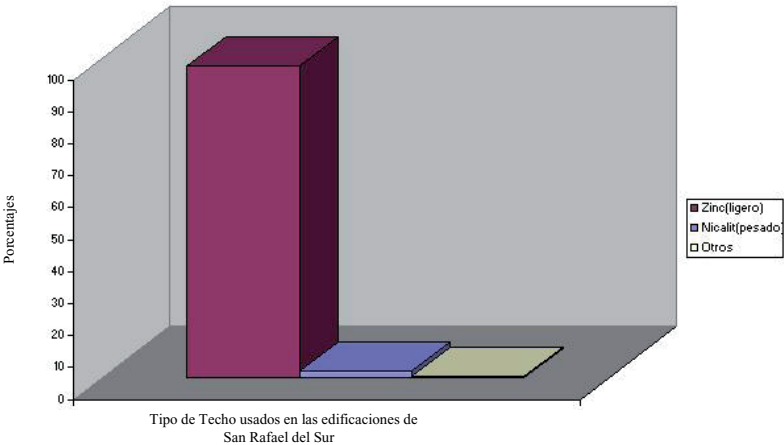


Gráfico 7.1: Tipo de material constructivo empleado como cubierta en las viviendas

Tabla 7.2: De la muestra evaluada, el mayor porcentaje de paredes o muro está constituido por Bloque de concreto o minifalda (concreto y madera) con el

91% correspondiente a residencias familiares.

PAREDES O MUROS DE LAS EDIFICACIONES	CANTIDAD	PORCENTAJES
Bloque de concreto o minifalda(Metal y concreto)	6	3
Bloque de cemento	4	2
Bloque de concreto o minifalda(concreto y madera)	180	91
Bloque de cemento decorativo o minifalda(madera y concreto)	4	2
Bloque de concreto con decorativo	1	0.5
Minifalda(Plycem y concreto)	1	0.5
Bloque de cemento o Madera	1	0.5
Mixto	1	0.5
TOTAL	198	100

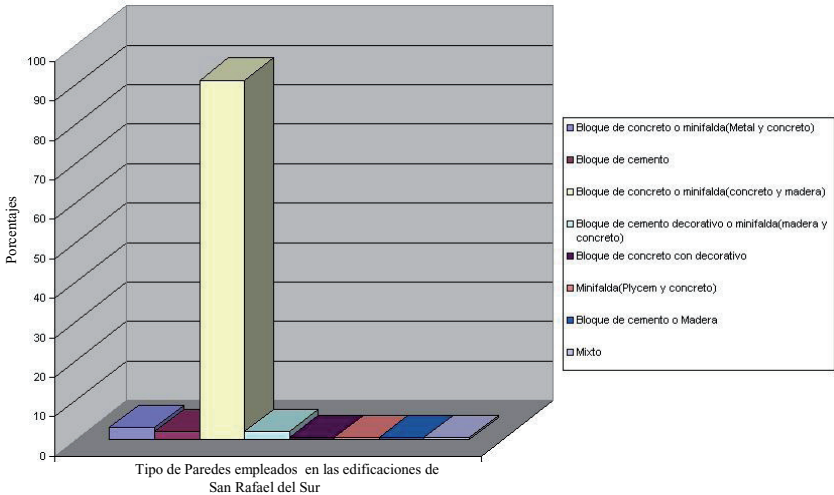


Gráfico 7.2: Tipo de material constructivo empleado en muros o paredes de viviendas

Tabla 7.3: Los datos de la muestra indican que la mayor parte de la infraestructura de San Rafael del Sur son viviendas con piso de tierra, embaldosado o ladrillo tradicional con un porcentaje representativo del 90%.

PISO O SUELO DE LAS EDIFICACIONES	CANTIDAD	PORCENTAJES
Terrazo	7	4
Ladrillo de Barro	2	1
Tierra, embaldosado o ladrillo tradicional	180	90
Ladrillo tradicional	7	4
Embaldosado	1	0.5
Mixto	1	0.5
TOTAL	198	100

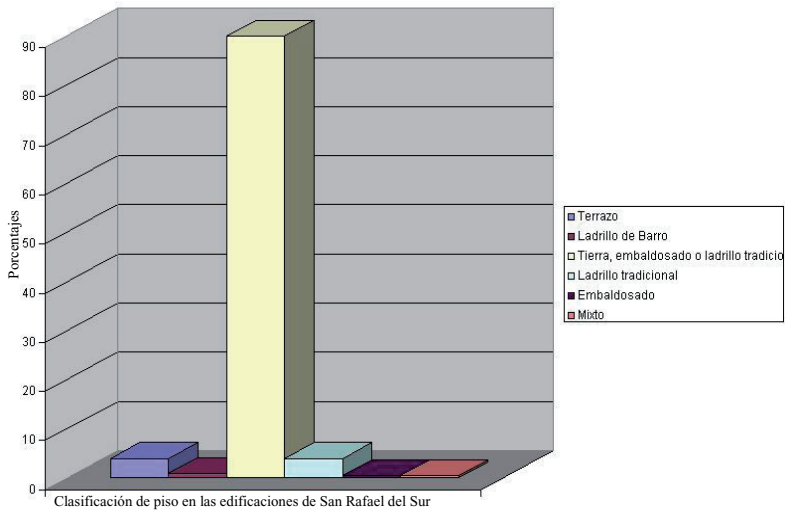


Gráfico 7.3: Tipo de material constructivo empleado como piso en las construcciones de San Rafael del Sur.

Tabla 8:

a) Estadística de estructura físicas en la comunidad de **Los Jaras**.

De la muestra evaluada, se presenta un mayor predominio de 10 residencia familiares (91%) constituida por techo de zinc, paredes bloque de cemento y madera; y piso de tierra o ladrillo tradicional. Se ha catalogado el sitio como un área con **vulnerabilidad estructural Alta**.

En Los Jaras se hallan ausentes las iglesias y centros educativos, pero cuenta con una vía de acceso en regular estado y una actividad económica dirigida por industrias artesanales locales.

USO DE LAS EDIFICACIONES	CANTIDAD	PORCENTAJES
Centro Educativos	0	0
Industria	1	9
Residencia familiar	10	91
Centro religiosos	0	0
TOTAL	11	100

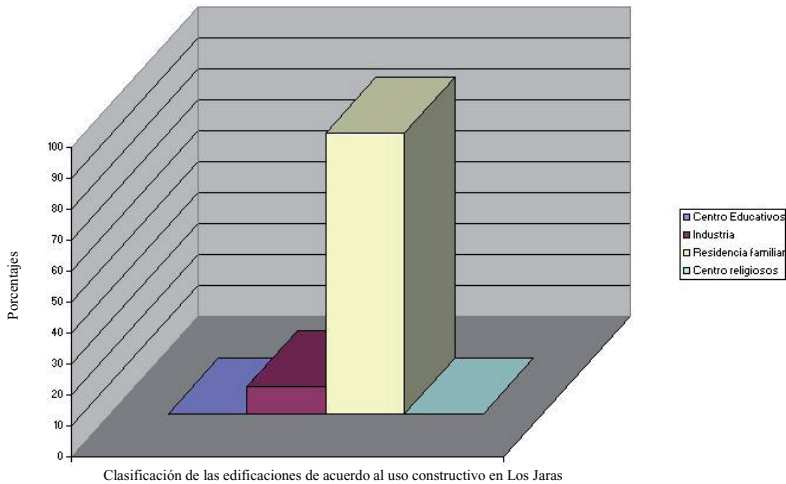


Gráfico 8: a) Tipología constructiva en la comunidad de Los Jaras.

b) Estadística de estructura físicas en la comunidad de **EL Tamarindo**.

El Tamarindo presenta el predominio de 15 viviendas familiares (94%) con pésimas características constructivas en comparación con el resto de comunidades que conforma San Rafael del Sur, con ausencia de centros escolares e iglesias, cuenta con una vía de acceso regular estado lo que complica la asistencia médica y alimentaria local inmediata en caso de emergencia..

Particularmente, las viviendas familiares se hallan constituida por un techo de zinc, paredes de concreto-madera y piso de tierra o embaldosado.

Por lo que se ha evaluado para este sitio un grado de **vulnerabilidad estructural Alto**, conforme a la correlación geológica, sísmica y geoestructural con la calidad constructiva

USO DE LAS EDIFICACIONES	CANTIDAD	PORCENTAJES
Centro Educativos	0	0
Industria	1	6
Residencia familiar	15	94
Centro religiosos	0	0
TOTAL	16	100

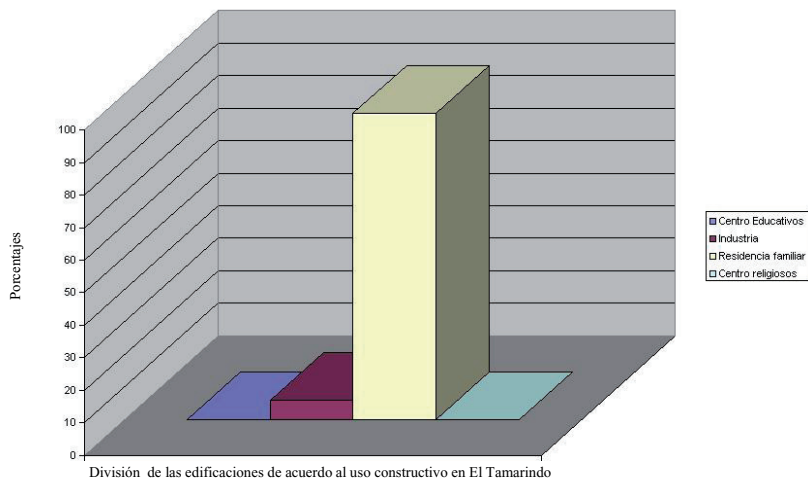


Gráfico 8: b) Clasificación constructiva en la comunidad El Tamarindo.

c) Estadística de estructura físicas en la comunidad de **Los Sánchez Norte**.

Los Sánchez Norte presenta el predominio de 59 viviendas familiares (94%) con regular características constructivas, constituida en su mayoría por un techo de zinc, paredes formados por bloque de concreto o minifalda (Plycem-concreto) y piso de ladrillo tradicional; edificios industriales iglesias y centros educativos. Éstos últimos posibles centros de albergue de personas expuesta a peligros por sismos y colapso de infraestructura. Asimismo, este lugar es favorecido por sus excelentes vías de acceso. **(Véase Foto 36)**

USO DE LAS EDIFICACIONES	CANTIDAD	PORCENTAJES
Centro Educativos	1	1.5
Industria	2	3
Residencia familiar	59	94
Centro religiosos	1	1.5
TOTAL	63	100

Por lo tanto, se le asignado un nivel de **vulnerabilidad estructural Medio**, conforme a correlación geológica, sísmica y geoestructural con la calidad constructiva local.

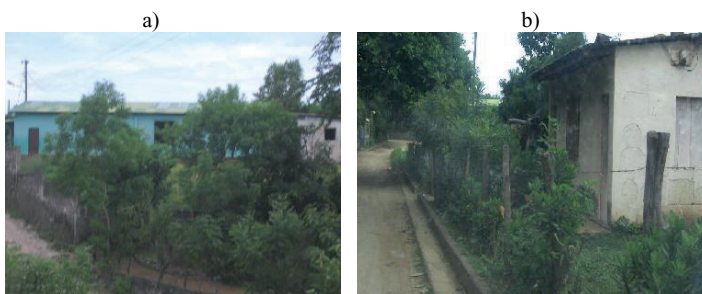


Foto 36: Vista panorámica de centro religioso a la izquierda(a) y vivienda familiar en la comunidad Sánchez Norte (b)

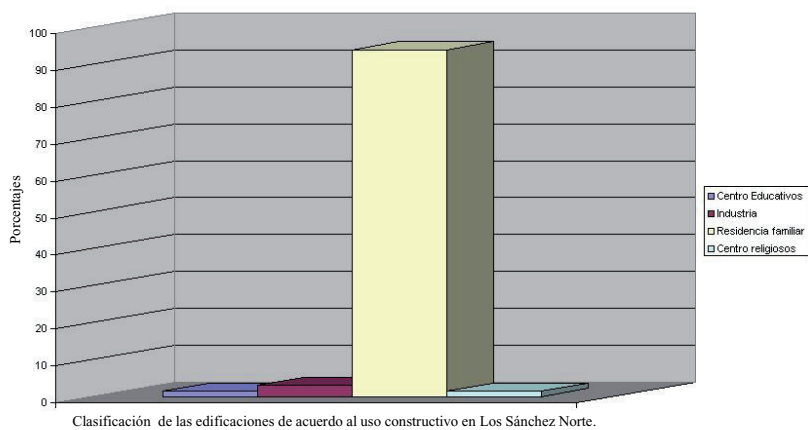


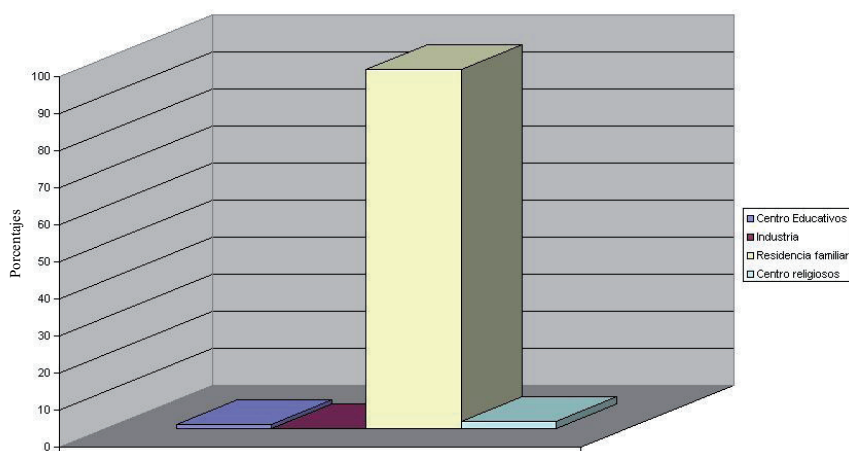
Gráfico 8: c) Clasificación de las edificaciones en función del uso constructivo en la comunidad El Tamarindo.

d) Estadística de estructura físicas en la comunidad de **Los Gutiérrez Norte**

Los Gutiérrez Norte presenta el predominio de 91 viviendas familiares (97%) con iguales características constructivas a San Rafael del Sur, pero con ausencia de industria locales. Esta tiene un nivel de **vulnerabilidad estructural es Bajo**, conforme a la correlación geológica, sísmica y geoestructural con la calidad constructiva local. En este sitio las vías de acceso se encuentran en buen estado

Particularmente, las iglesias y centros educativos representarían zonas de refugios temporales y alimentación en caso de sismos.

USO DE LAS EDIFICACIONES	CANTIDAD	PORCENTAJES
Centro Educativos	1	1
Industria	0	0
Residencia familiar	91	97
Centro religiosos	2	2
TOTAL	94	100



Clasificación de las edificaciones de acuerdo al uso constructivo en Los Gutiérrez Norte.

Gráfico 8: d) Tipología de las edificaciones en función del uso constructivo en la comunidad Gutiérrez Norte.

X- CORRELACIÓN DE LA GEOLOGÍA DE CAMPO CON DATOS SISMICO INSTRUMENTALES PARA EL ÁREA AL NOROESTE DE SAN RAFAEL DEL SUR.

1- San Rafael del Sur, a sólo 46km de Managua, con una extensión superficial de 2km², presenta una morfología llana con inclinación menor de 10°, compuesto por un suelo arenoso intercalado con lutitas, conglomerado aluvial, arcilla –limosa aluvial reciente y aglomerado basáltico, poco meteorizado dentro de una zona de menor actividad sismotectónica que se manifiesta en plegamiento y microfallamiento tectónico lejos del área epicentral con aceleraciones moderadas del suelo entre 0.02 – 0.06g debido en parte a su cercanía con una falla geológica deducida Kuang y William (1971) distante a 450m con dirección SO-NE. Esta estructura geológica no muestra una expresión morfológica en los cortes de rocas del Río Jesús. (Véase Mapa 4)

Las estructura física de esta municipalidad están emplazada en un suelo de fundación firme, donde no se evidencia hundimientos ni árboles o postes inclinados, no se percibe vibración fuerte con el paso de transporte pesado en dichas estructuras, ni agrietamiento en paredes ni desniveles en el terreno.

2- La comunidad Los Gutiérrez Norte, ubicada al noroeste de la municipalidad y distante de 2.7km de ésta, con un área de 1km² presenta un relieve plano con pendiente inferior a 3° de inclinación, compuesto por un suelo arenoso intercalado con lutitas, arenisca waka, conglomerado aluvial, arcilla y aglomerado basáltico. Este sitio representa una zona de mayor actividad sismotectónica debido a que su sismicidad local obedece a las características dinámicas del foco sísmico los cuales son magnitud que oscila 2 - 3 °ML y profundidades focales que varía de 1 - 4km originando aceleraciones de suelo moderadas de 0.0095 – 0.01g.

Se ha clasificado como una zona de menor peligro sísmico, donde no se muestra a través de la cartografía regional a escala 1:50, 000 de Kuang y William (1971) la influencia de una falla geológica local ni evidencia de campo.

3- La comunidad de Sánchez Norte, localizada en el Municipio San Rafael del Sur, a sólo 2km de distancia de éste y con una extensión superficial de 1km² se caracteriza por una morfología plana menor de 2° de inclinación con respecto a la horizontal, compuesto por un suelo limo y arcillo limoso suelto y meteorizado, arenisca con intercalación de lutita y arcilla; cantos y bloques de andesitas con arenas cuya permeabilidad está vinculada con la naturaleza de los mismos y el grado de fracturación. A su vez, constituye una zona con mediana actividad sismotectónica que se refleja en el campo por una manifestación mayor de fracturas y otros de menor predominancia como son microfallamientos, diaclasas de relajación y plegamientos tectónicos, cuya aparición obedece a su cercanía al área epicentral con sismos de magnitudes del orden de 2 - 3 °ML y distancia focales que oscila de 1 – 4km generando aceleraciones moderadas del suelo entre 0.0095 - 0.01g

Los Sánchez Norte se ha clasificado como zona con menor peligro sísmico, por lo que no se espera paralización del funcionamiento social local. Aunque, se localiza hacia el noreste de esta comunidad una falla geológica supuesta por Kuang y William (1971), distante unos 150m con dirección NO-SE. Sin embargo, esta estructura geológica no muestra una expresión morfológica en superficie.

4- Los Jaras, se localiza al oeste de San Rafael del Sur a sólo 1.5 km de distancia, con un área 1km² de presenta un relieve plano constituido por un suelo arcillo-arenoso aluvial reciente, suelto e impermeable. Esta comunidad se ubica dentro de una zona con mayor actividad sismotectónica que se manifiesta en el campo a través de fracturas y diaclasas de relajación, debido su ubicación dentro del área epicentral con sismos de magnitud de 3 °ML y distancia focal de 4km, siendo afectado localmente por una estructura geológica de dirección SO-NE distante a 70m donde las aceleraciones de suelo adquieren valores que van de 0.1 - 0.25g.

Esta se ha clasificado como una zona con mayor peligro sísmico con repercusiones en la funcionalidad de su estructura social debido a que no cuentan con centros de refugios in situ dificultando las medidas de asistencia médicas y alimentaria inmediatas.

5- El Tamarindo, localizado al suroeste de San Rafael del Sur y distante 3.5 km con una extensión superficial 2km², se caracteriza por un relieve llano constituido por un suelo arcillo-arenoso aluvial, meteorizado, suelto e impermeable afectado por 2 fallas geológicas deducidas por Kuang y William(1971) con dirección NO-SE y SO-NE dentro de una zona con mayor actividad sismotectónica con epicentros con magnitud de 2-3 °ML y profundidades focales mayores a 4km, sin evidencia de rasgos estructurales en el campo. Sin embargo, esta comunidad presenta valores de aceleración del suelo 0.4-0.5g.

XI-) METODOLOGÍA DESARROLLADA

11.1-) PROCEDIMIENTOS PARA RECOLECCIÓN DE DATOS Y SU ANÁLISIS

Este trabajo se realizó a través de un estudio de carácter descriptivo y analítico, basado en datos de campo y análisis e interpretación de registros sísmicos. Para obtener la información se procedió de la siguiente manera:

11.1.1)- Revisión bibliográfica y recopilación de datos.

- a) Se realizó una revisión bibliográfica para elaborar el informe final con título **Peligro Sísmico al Noroeste de San Rafael del Sur, Managua-Nicaragua**. La bibliografía a consultar se encuentra en la Dirección de Sismología y Geología Aplicada y el Centro de Documentación del Instituto de Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER).
- b) Se recopiló y procesaron la información para la sustentación del marco teórico.

11.1.2)-Recolección y estudios de mapas, informes geológicos y datos sismológicos.

- a) Se obtuvieron y estudiaron mapas geológicos y topográficos a escala 1:50.000 para el Municipio de San Rafael del Sur.
- b) Se interpretaron datos sísmicos instrumentales locales (fecha y hora de ocurrencia, coordenadas de latitud y longitud, profundidad focal y magnitud para sismos ocurrido entre 2000 – 2002 en San Rafael del Sur) y se obtuvieron datos estructurales de las fallas, localización, rumbo, buzamiento, saltos, tipos de movimientos, evidencia en superficie, etc., con parámetros deducidos de los mecanismos focales de los datos sismológicos.

11.1.3)- Ejecución del trabajo geológico de campo, búsqueda de evidencias de fallas geológicas, recolección de datos estructurales y llenado de ficha de datos técnicos.

- a) Se hicieron descripciones geológicas de campo aprovechando las exposiciones naturales de rocas (cortes de ríos, cortes de carreteras y afloramientos).
- b) Se llenó ficha de campo (véase anexo No 2) de datos acerca prevalencia, uso y tipología de construcción de edificios; disponibilidad de vía de acceso y comunicaciones dentro del área de estudio.

11.1.4)- Procesamiento y análisis de la información obtenida. Resultados.

Esta etapa consistió en utilizar modelos computarizables para recolectar datos, procesar la información mediante procedimientos computacionales que permitieron efectuarlo automáticamente, para facilitar la descripción de los resultados obtenidos y caracterizar la zona de estudio. Los programas de computadoras usados son el ArcGis 9 y AutoCad 2004.

11.1.5)-Discusión de los resultados y digitalización o presentación de la información gráfica (mapas, tablas,)

En esta fase se correlacionaron datos geológicos de campo con parámetros deducidos de los mecanismos focales de registros sismológicos instrumentales para la elaborar mapas finales referentes a fallas geológicas y zonificación sísmica del área en estudio.

11.1.6)- Informe final

Redacción, Presentación y Defensa del Informe Final, contiene todos los elementos involucrados en el estudio describiendo cada uno de los pasos adoptados, obtenidos de datos geológicos de campo, interpretaciones personales, y trabajo de gabinete.

11.2)-_INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN

11.2.1 - Trabajo de oficina:

Estereoscopio, transportador, marcadores punta fina, marcadores indelebles, borrador, lápices de colores, lápiz y borrador, láminas transparentes (filminas), fotografías aéreas, mapas topográficos e informes geológicos y sísmicos relacionados.

11.2.2- Trabajo de campo:

Brújula Brunton, lupas (10X), martillo de geólogo, cinta métrica, lápiz y borrador, libreta de campo, cámara fotográfica y rollos, GPS, vehículo para la transportación, fotografías aéreas.

11.2.3 - Informe final:

Se empleó papelería, programas e impresiones de computadoras, escalímetro, pegamento blanco, tijeras, block blanco sin rayas, engrapadora, folder y marcadores de colores Lumocolor permanentes.

XII- RESULTADOS

La información geológica de campo y datos sismológicos históricos e instrumentales presentada en este estudio ha permitido preparar mapas temáticos para su uso en la planificación física del suelo de San Rafael del Sur.

El estudio del peligro sísmico asociado a fallas geológicas se realiza con base a 6 criterios específicos. Estos son:

- 1.- Información contenida en Mapa Geológico regional a escala 1:50,000 de Kuang y R. William (1971) publicado por Instituto Geográfico Nacional (IGN) referente a cercanía de fallas activas, tipo y formaciones geológicas afectadas.
- 2.- Localización y distribución espacial de sismos recientes y pasados y/o de las zonas afectadas, así como las características de los mismos (magnitud, profundidad focal, duración, mecanismos de ruptura, y otros)(Véase Mapa 2)
- 3.- Descripciones geológicas de campo en cortes de ríos y afloramientos referente a tipos y características de las rocas y suelos, comportamiento mecánico, grado de meteorización, estratigrafía, estructuras sedimentarias y actividad tectónica.(Véase Mapa 3)
- 4.- Cartografía de la infraestructura física que pueden ser afectados, uso y tipología estructural; disponibilidad y localización de vía de acceso y telecomunicaciones. (Véase Mapa 4)
- 5.- Cálculos de aceleraciones sísmicas aplicando la relación de atenuación de Campbell(1981):

$$A = 0.0159 e^{0.868M} / (R + 0.060e^{0.7M})^{1.09}$$

Donde:

A: aceleración horizontal del suelo (cm/s²)

M: magnitud sísmica(°R)

R: distancia focal(km)

e: funcion exponencial con valor adimensional igual a 2.718281828.

En este trabajo se empleó la relación de atenuación sísmica de Campbell (1981) por el hecho de proporcionar valores adecuados de aceleración máxima del suelo en sitios cercanos a fuentes sísmicas (en este caso fallas geológicas ocultas) y apropiada para valores pequeños de distancia hipocentral y magnitudes Richter

Tal ecuación esta basada en diferentes cantidades de datos sismológicos o en diferentes calidades de mediciones hechas en diversas partes del mundo. Esto es importante de mencionar por cuanto el tipo de terreno y ubicación geográfica de los sismos utilizados

para desarrollar las ecuaciones de atenuación determinan su aplicabilidad a un sitio dado.

6.- Cálculos estadísticos y matemáticos aplicando el proceso de Poisson(a) para determinar la probabilidad de ocurrencia o excedencia en función de un período de retorno:

Proceso de Poisson:

$$P_n(t) = e^{-kt} (kt)^n / n!$$

Donde:

P_n (t) = probabilidad de ocurrencia de n eventos en un intervalos de tiempo t

n= numero de eventos

K= tasa o frecuencia media de ocurrencia por unidad de tiempo.

Para obtener la probabilidad de tener al menos un evento mismo intervalo de tiempo t, se emplea la expresión:

$$P[\text{al menos un evento en tiempo } t] = 1 - e^{-kt}$$

Para obtener la probabilidad excedencia en n años, importante para calcular la vida útil de una estructura que ha sido emplazada en un terreno es:

$$(1-p)^n = 1 - P_n \text{ y su empleó en función del período de retorno está dado por}$$

$$Pr = 1/p$$

Los criterios antes mencionados están apoyados de Sistema de Información Geográfica (ArGis 9) para el tratamiento automático de la información y la realización de numerosos análisis con diferentes combinaciones resultando mapas temáticos; y AutoCad 2004 para la presentación digital de la información de campo en perfiles geológicos y columnas estratigráficas; Microsoft Excel para la presentación de la información sismológica instrumental e histórica y constructiva en tablas y figuras; empleo de imágenes fotográficas para evidenciar aspectos geológicos y constructivos locales.

Se obtuvo de este trabajo lo siguiente:

1. Localización de epicentros y estructuras geológicas locales en el área noroeste de San Rafael del Sur a escala 1:30,000(**Véase Mapa 2**)
2. Geología del sitio de estudio al noroeste de San Rafael del Sur a escala 1:35,000.(**Véase Mapa 3**)

3. Zonificación sísmica del suelo del noroeste de San Rafael del Sur a escala 1:35,000.(**Véase Mapa 4**)
4. Perfiles geológicos y su localización en el Mapa Topográfico de San Rafael del Sur 2951-IV(**véase Mapa 5**) para cada áreas específicas dentro de la zonas de estudio:
 - 5.1- Quebrada Pisinga-Santa Teresa en dirección SO-NE
 - 5.2- Loma Chocoyos – Los Hurtados en dirección NO-SE
 - 5.3.-Quebrada Ojochalito-Camino a San Pablo en dirección NO-SE

Todos los perfiles geológicos antes mencionado se elaboraron a una escala vertical 1:10,000 y una escala horizontal 1:1000 (*Ver perfiles geológicos y columnas estratigráficas en ANEXO 2.*)

5. Columnas Estratigráficas de áreas específicas dentro de la zonas de estudio:
 - 5.1- Km 48 Carretera San Rafael del Sur, Los Jaras
 - 5.2- Km 51 Carretera San Rafael del Sur, camino El Tamarindo-Río Jordán.
 - 5.3- Empalme de San Rafael del Sur – Sánchez Norte, camino Sánchez Norte cruce con el Río Jesús.
 - 5.4- Correlación de columnas estratigráficas efectuadas en San Rafael del Sur

Las columnas estratigráficas presentadas en este trabajo se realizaron a una escala horizontal 1:10 y una escala vertical 1: 10,000

6. Datos de aceleraciones sísmicas del suelo, probabilidades de excedencia y ocurrencia de sismos y sus correspondientes periodos de retornos a partir de la formulación estadística y matemática antes presentada para el sitio de estudio.(**Véase página 40 y 54**)
7. Registro fotográfico en cortes de ríos y afloramientos referentes a las características geológicas (**Fotos de 1 -33**), y constructivas (**Fotos de 34 – 37**) del área al noroeste de San Rafael del Sur.
8. Información sísmica instrumental e histórica y caracterización de la infraestructura física urbana y rural de San Rafael del en Tablas y figuras:
 - 8.1- Indicación de fecha y hora de ocurrencia de sismos, coordenadas geográfica, magnitud y profundidad focal de eventos sucedidos entre el 2000-2002 en el sitio en estudio (**véase la Tabla 3**)
 - 8.2- Características estructurales instrumentales obtenidas de mecanismos focales de sismos ocurrido en el 2000-2002(**véase Tabla 4**)
 - 8.3- Mecanismos de rupturas obtenido instrumentalmente representado en la **Figura 7** en San Rafael del Sur y alrededores.
 - 8.4- Representación gráfica de la Aceleración Sísmica del suelo en función de Período de Retorno calculado por Zapata y Duarte (1985) presentado por el autor de este trabajo para la Cementera Canal en la **Figura 9**

8.5- Datos estadísticos en edificaciones urbanas y rurales en el sitio de estudio presentado en la **Tabla 7; 7.1;7.2 y 7.3** y estadísticas de las estructuras físicas de comunidades aledañas que se muestran en la **Tabla 8: a, b, c y d.**

8.6- Inventario de fallas geológicas realizado por el autor de este trabajo (número, longitud, dirección, coordenadas geográficas y densidad de falla) del sitio de estudio deducida a partir de la cartografía geológica regional a escala 1:50,000 de Kuang y William (1971) reflejada en la **Tabla 9: a y b.**

En el mapa 2 se muestra 3 líneas fuentes, potenciales generadoras de sismos en el sitio de estudio caracterizado por la forma espacial de distribución de los epicentros, dimensión y orientación específica, y la magnitud que cada uno de ellos presenta que se detallan a continuación.

a). Línea Fuente N° 1, integrada por mecanismos focales I y III, muestra segmento recto de dirección SO – NE en un área de 3km², el cual contiene fallas laterales izquierdas y una falla normal. Ambas relacionadas con sismos de magnitud mayor a 3°R y profundidad focal mayor a 4km, afectando las comunidades de El Tamarindo, Presa La Junta y sector NO de Los Jaras.

b). Línea Fuente N° 2, conformada por mecanismos focales IV y V, presenta una forma rectilíneo con dirección N-S en un área de 2km², el cual encierra fallas laterales izquierdas y derecha asociadas a epicentros con magnitudes que oscila entre 2 - 3°R y distancia focal de 1 y 4 km, afectando las comunidades la presa La Junta y Los Jaras.

c). Línea Fuente N° 3, compuesta por los mecanismos focales VI y VII, se halla asociada con sismo de magnitudes que oscila entre de 0 – 2 °R y profundidad focal que varia entre 1-4km describiendo una trazo recto de dirección SO – NE en un área de 3km² que contiene a fallas laterales izquierdas, afectando la comunidad Gutiérrez Norte y el NO de Los Sánchez Norte.

Las líneas fuentes antes mencionadas constituyen ejes independientes de esfuerzo tectónico asociado con sismos locales que van de la comunidad El Tamarindo hasta Los Gutiérrez Norte al Oeste de San Rafael del Sur deducido de los datos sísmicos instrumentales.(Véase **Mapa 2**)

Se hizo necesario de información sobre números de sismos ocurridos en el sitio de estudio, distribución espacial y temporal de la magnitud de los eventos que ocurren en la fuente obtenidos de la información sísmológica local.

Cabe mencionar, en la fase de campo, las fallas geológicas escapan de la observación directa de superficie, debido a que se hallan ocultas por la vegetación; por gruesas capas de depósitos coluviales del Cuaternario, de la Formación Masachapa, Formación El Salto y Formación El Fraile; por corrientes aguas superficiales que circulan por los ríos Jesús y Jordán o bien, su localización en zonas urbanas de San Rafael del Sur, Los Gutiérrez Norte y El Tamarindo.

A su vez, no se distinguen en el sitio de estudio cortes de carreteras, lo que dificulta visualizar desplazamientos relativos de secuencias o unidades litológicas.

Sin embargo, se presentan evidencia de la actividad tectónica en afloramientos puntuales y cortes cercanos a los ríos Jesús y Jordán que se relacionan con la localización y distribución espacial de epicentros registrados instrumentalmente y la cartografía geológica regional de Kuang y William(1971) a escala 1:50,000.

(Véase Mapa 1 y 2)

Por otra parte, las interpretaciones de fotografías aéreas se excluyeron en este trabajo debido a razones antes expuestas. Por lo que se limitó la actividad de campo a un área de 45km² al Noroeste y Oeste de San Rafael del Sur apoyados de la interpretación de mecanismos focales derivados del análisis sísmico para las Comunidades Los Jaras, El Tamarindo, Sánchez Norte, Gutiérrez Norte y San Rafael del Sur.

A partir de los datos sismológico instrumentales se deduce tipos de ruptura característicos de la zona y de mayor predominancia asociados a los elementos geológicos ocultos en el sitio de estudio, su rumbo, buzamiento, posición espacial y temporal, características de los epicentros vinculados (fecha y hora de ocurrencia de sismos, profundidad focal y magnitudes) **(véase Tabla 3, Tabla 4 y Figura 7)**. Así como, las aceleraciones sísmicas locales usando la relación de atenuación de Campbell (1981) **(Véase Cuadro 3)**. Esto permitió concluir que la sismicidad superficial se relaciona a fallas laterales izquierdas locales localizadas al Oeste de San Rafael del Sur y dispuesta linealmente formando un eje de dirección curvo de máximo esfuerzo tectónico.

Cuadro 5: Ecuación de atenuación para sismos deducidos de mecanismos focales **(Véase Mapa 4)**

Comunidades afectadas	Tipo de sismos presente en el sitio de estudio ocurridos entre 2000-2002	Relación de Atenuación Sísmica de Campbell (1981) empleada por el autor		
		$A = 0.0159 e^{0.868M}/(R + 0.060e^{0.7M})^{1.09}$		
		Magnitud (°R)	Distancia Focal (Km)	Aceleración máxima calculada(g)
El Tamarindo	1	3.6	1	0.5
El Tamarindo	5	3.5	0.1	0.4
Los Jaras	6	3.3	0	0.25
Los Jaras	7	3	0	0.1
Los Jaras	9	2.6	8.5	0.06
Los Jaras	10	2.8	8	0.02
Los Gutiérrez Norte	11	2.5	1.1	0.0095

A: aceleración horizontal del suelo (cm/s²)

M: magnitud sísmica(°R)

R: distancia focal(km)

e: función exponencial con valor adimensional igual a 2.718281828

XIII.- DISCUSIÓN

El monitoreo sísmico realizado por INETER en 1975 y las actuales investigaciones geológicas llevadas a cabo en el área de estudio han permitido definirla como una zona de baja sismicidad con 30 años de inactividad. Presentando un comportamiento sísmico anómalo entre los años 2000 – 2002 asociado con la actividad de falla geológicas

La distribución espacial de epicentros para sismos ocurridos en 2000-2002 al NE de San Rafael del Sur es transversal a las fallas geológicas locales describiendo una forma de trazo lineal y curvo al cual se le ha asignado un número como se muestra en el **Mapa 2** en diferentes direcciones posiblemente asociado a bloques tectónicos desplazados que se evidencia en las curvaturas del Río Jesús.

Si bien, no existen evidencia de planos de fallas geológicas que definen desplazamientos relativos de unidades litológicas de las Formaciones Masachapa y El Salto se debe considerar esa baja densidad de falla como un elemento desfavorable, debido a que la energía se concentra segmentos locales de fallas geológicas ocultas aumentando de este modo el peligro sísmico en San Rafael del Sur. (**Véase Tabla 7**)

Los epicentros registrados instrumentalmente se encuentran localizados a 2.75km de San Rafael del Sur, cubriendo un área de 7km², con rangos de magnitudes entre 2.7 – 3.3 y de profundidades 0 – 8.5km.

Zapata R. y M. Duarte (1985) obtuvieron sismos de foco superficial con aceleraciones menores entre rango 0.02 – 0.16 gs' para el área de la Cementera Cemex donde se empleo la Ecuación de Atenuación de Donovan (1974) para dichos cálculos. A su vez determinaron a partir de lecturas puntuales de aceleración entre 0.05 – 0.24 en San Rafael del Sur periodos de retornos entre rangos de 5 – 500 años.

Estos datos son correlacionable con la información sísmica cartográfica regional presentada por GSHAP INETER en 1999 para un período de 50 años con excedencia del 10% que corresponde a un período de retorno de 475 años con valores de aceleración del suelo 4.0 – 4.5 m /seg² característico de una zona de amenaza sísmica alta.

Tabla 9: Inventarios de Fallas Geológicas deducidas para el área Noroeste de San Rafael del Sur Departamento de Managua obtenida del Mapa Geológico 1:50,000 del IGN (1971)

T. 9. A

Número de Fallas Geológicas	Longitudes(km)	Dirección	Coordenadas UTM
Falla N° 1: Los Jaras	2.75	SO-NE	N1312.474-E554.472
Falla N° 2:Sugarcane- Las Cañas – San Pablo	17.57408	NO – SE	N1322.269-E554.432
Falla N° 3: Corta la localidad Tamarindo	2.9	O - E	N1309.188-E557.491
-----	Total: 23.22408		-----

a: Calculo de la densidad de falla en el terreno deducida por Kuang y William(1971) {longitud total de todas las fallas (km) /área de estudio (45km²)}. La respuesta es: **0.516090666km⁻¹**

En la Tabla 9.A las fallas geológicas deducidas por Juan Kuang y R. Williams (1971) han sido estudiadas a través de fotointerpretación.

El autor, opina que los trazos de fallas deducidos por Kuang y Williams (1971) no muestran exposiciones superficiales de rocas que reflejen las características estructurales y litológicas respectivas en área de estudio, por lo que se recurrió registros de sismos locales e interpretación de cortes de rocas en los ríos Jesús y el Jordán.

T. 9. B:

Numero de Fractura tectónica	Longitudes(Km.)	Dirección	Coordenadas UTM
Fractura tectónica N° 1 : Poza azul	0.85	NO-NE	N1313.256-E554.457
Fractura tectónica N° 2: Los Mesas	3.05	SO-SE	
Fractura tectónica N° 3: El Nambrita-Los Pavones	4.51788	SO-NE	N1312.559-E554.581
Fractura tectónica N°4: Loma El Portillo –Loma San José	4.5	SO-NE	N1309.337-E554.465
-----	Total: 12.91788		-----

b: Calculo de la densidad de falla en el terreno deducida por Kuang y William(1971) {longitud total de todas las fallas (km) /área de estudio (45km²)}. La respuesta es: **0.287064km⁻¹**

En la Tabla 9.B las fracturas tectónicas deducidas Kuang y Williams (1971) no aflora en superficie. Por lo que se realizaron descripciones puntuales en cortes de ríos auxiliados de datos sísmicos.

XIV.- CONCLUSIONES

Uno de los objetivos de este trabajo era establecer una correlación entre los datos de campo de las fallas geológicas con datos sísmicos instrumentales obtenida en el INETER, lo que fue posible realizar como se presenta en el **Acápite X** de la página 43.

La información sísmica encontrada fue vital y significativa para llevar a cabo dicho propósito, siempre encaminado a determinar el Peligro Sísmico al Noroeste de San Rafael del Sur. Esto permitió zonificar el área Noroeste de San Rafael del Sur de acuerdo con las características sísmicas y geológicas in situ.

Las observaciones y mediciones de campo realizadas en cortes de ríos, junto con datos sismológicos históricos e instrumentales existentes de San Rafael del Sur conducen al reconocimiento del peligro sísmico asociado a potenciales fallas geológicas locales.

De acuerdo a los resultados obtenidos por este estudio se puede concluir que:

- a) El área NO de San Rafael del Sur, está emplazado en una zona con alto nivel de sismicidad de Nicaragua como lo demuestra la concentración de epicentros históricos y recientes situados en sus alrededores, asociado a distintas fuentes generadoras (Véase Tabla 3 y 4)
- b) La fuente sismogeneradora que afecta mayormente el sitio lo constituye las fallas geológicas locales, comprobado a través de mediciones de datos estructurales instrumentales, lecturas sísmicas e interpretación del mapa geológico 1:50,000 elaborado por Kuang y William (1971) en San Rafael del Sur del área en estudio. Donde se registraron sismos someros cercanos a zonas urbanas de San Rafael del Sur afectando iglesias, escuelas, viviendas y edificios industriales, siendo el rango de profundidad de los sismos entre 0 – 8.9km y magnitudes del orden 2.7 – 3.3 °R. Cabe mencionar que la sismicidad local se halla históricamente fundada en epicentros relativamente profundos provenientes de la zona de subducción.
- c) Para San Rafael del Sur y alrededores se han determinados valores de aceleración horizontal del suelo de 0.01-0.5g aplicando la relación de atenuación de Campbell(1981) con una tendencia al aumento en cortos periodos retornos favorecidos por las condiciones geológicas locales (**Véase Mapa 3**)
- d) Se determinado analíticamente que la aceleración asociada con los sismos ocurridos en el 2000 - 2002 aumenta en suelos arcillo - limoso sueltos o aluviales sin

consolidar de 0.4 - 0.5g, en cambio, en suelos arenosos estables y firmes tienen un efecto atenuador de 0.009 - 0.01g. **(Véase Mapa 4)**

- e) La sismicidad local tiene una tendencia epicentral con una disposición al NE de Masachapa pasando por San Rafael del Sur y dirigiéndose al Norte asociado a una falla lateral izquierda regional.

- f) La parte Oeste de San Rafael del Sur, donde se localizan las Comunidades de El Tamarindo, Los Jaras y Gutiérrez Norte se hallan afectadas por eje de dirección cóncavo de esfuerzo tectónico predominante SO-NE constituida por fallas laterales izquierda de carácter local que cobran una expresión regional cuando se alinean deducidos de mecanismos focales de los datos sísmicos.

- g) La distribución espacial de sismos ocurridos entre 2000 – 2002 en el Noroeste de San Rafael del Sur y alrededores definen la extensión y forma elongada del área epicentral.

- h) La mayor parte de la energía liberada se concentra en un número relativamente pequeño de sismos locales con magnitudes de 3°R aumentando linealmente con la profundidad focal. **(Véase Mapa 2)**

- i) La Comunidad Gutiérrez Norte y San Rafael del Sur con similares características geológicas difieren por su ubicación espacial cercanas a fallas geológicas deducidas y epicentros para sismos recientes. Por otra parte, El Tamarindo, Los Jaras y Sánchez Norte constituyen área con distintas composición geológica, en cuyo caso la localización y distribución espacial de las evidencias de tectonismo activo hacen la diferencia entre ellas.
(Véase Mapa 3)

XV.- RECOMENDACIONES

Este trabajo se realizó con el propósito de determinar el peligro sísmico asociado a fallas geológicas en un área al noroeste de San Rafael del Sur, Departamento de Managua, para una mejor planificación física del territorio. Sin embargo, se para ampliar el conocimiento sobre la sismicidad superficial local y confrontarlo aún más con la investigación geológica de campo lo siguiente:

1. Realizar exploraciones geofísicas a detalle aplicando el método sísmico para determinar la dirección, actividad y trayectorias de las fallas geológicas in situ, espesores de rellenos o recubrimientos, excavabilidad de los materiales, posición del nivel freático, estructura del subsuelo, espesor de roca alterada y otros. Estos resultados ayudarán a la reubicación o construcción de viviendas en zonas más seguras. Esta investigación será realizada por la Alcaldía Municipal, consultores privados u otros en la ejecución de proyectos de obras urbanas.
2. Elaborar un plan de trincheraje exploratorio en la fase de campo que demuestre la existencia y localización espacial de estructura de fallas en el área de estudio.
3. Llevar a cabo mediciones de rumbo y buzamientos en fracturas o planos de fallas geológicas en excavaciones exploratorias, usando brújula tipo Brunton y su representación espacial en la falsilla de proyección estereográfica de Wulff para determinar dirección y tipo de esfuerzos tectónico predominante en el sitio de estudio. En el presente trabajo se ha logrado definir lo antes mencionado empleando mecanismos focales locales provenientes de datos sísmicos instrumentales que en esencia resuelve la misma tarea.
4. Efectuar secciones petrográficas para mejorar las descripciones microscópicas de las microestructuras y composición mineralógicas de rocas representativas.
5. Realizar mediciones acelerográficas a detalle para registrar movimientos del terreno y relacionarlo con los daños observados en las viviendas, lo cual es de importancia para el diseño de futuros proyectos.
6. Efectuar un análisis a detalle del peligro sísmico para cada una de las estructuras que integra cada una de las comunidades que conforman San Rafael del Sur, descritas en este trabajo monográfico.
7. Realizar ensayos in situ y ensayos de laboratorio para la determinación de las propiedades geotécnicas de suelos y rocas como numero de golpe corregido, capacidad de soporte, profundidad de desplante, nivel freático, descripción estratigráfica puntual, límites de Atterberg, humedad (%), clasificación SUCS, deformabilidad y permeabilidad mediante ensayos de penetración estándar (SPT), Prueba Placa de carga, ensayos de caudal y carga constantes y otros.

8. Considerar la Guía Técnica de Estudio Geológico por Fallamiento Superficial y el Reglamento de Construcción al proyectar construcciones de obras civiles

verticales. Es recomendable asesorarse con Geólogos, Sismólogos, Geotécnicos y Geofísicos a la hora de definir la metodología exploratoria del suelo, de modo que sea lo más completa y real.

9. Almacenar en formato digital la información y ponerla a disposición del Gobierno Municipal sin que éste tenga que invertir dinero en personal o computadoras para realizar este estudio.
10. Incorporar la información geológica y sísmica contenida en este trabajo monográfico a los planes ordenamiento territorial y uso del suelo del Municipio de San Rafael del Sur y alrededores para el establecimiento de sistema de alerta o servicios de asistencia y acogida de personas evacuadas en caso de emergencia.

XVI.-) BIBLIOGRAFÍA.

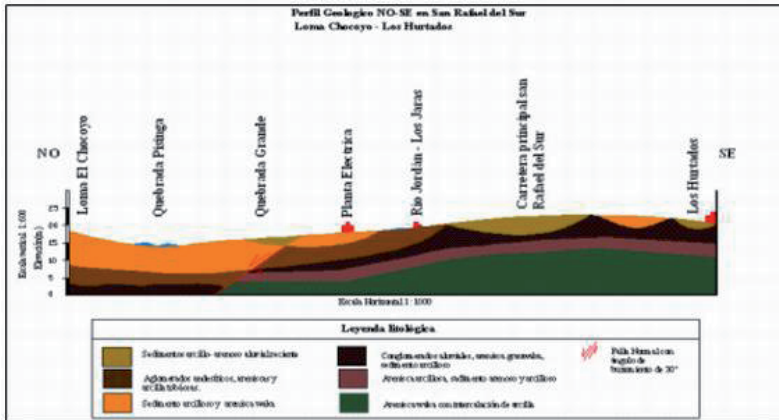
- 1) Álvarez, A. (2002). Anotaciones del curso de Geología Ambiental. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (UNAN-Managua). Managua.
- 2) CORPOCALDAS (2000). Gestión ambiental: Riesgos Naturales, Desastres y Medio Ambiente N° 6. Editorial Corporación Autónoma Regional de Caldas (CORPOCALDAS). Manizales, 8p.
- 3) Denyer, P. et al. (2001). Geología de Costa Rica. 1era edición. Editorial Tecnológica de Costa Rica. Cartago, 520p.
- 4) González V., Luis (2002). Ingeniería Geológica. Editorial Prentice Hall. Madrid. 744p.
- 5) Hodgson, G. (2000). Geología Regional de Nicaragua: Léxico estratigráfico de Nicaragua. UNAN-Managua. Managua, 184 p.
- 6) Hodgson, G. (2002). Geología Histórica Regional e Historia Geológica Estructural Tectónica simplificada de Nicaragua y América Central. 2^{da} edición. UNAN-Managua, 155 p.
- 7) INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL (IGN), 1971: Mapa geológico cuadrángulo “San Rafael del Sur” Esc: 1:50,000, 1^{era} edición.
- 8) Luna, E. y L. Espinoza (2003). Medio Ambiente y Minería. Revista Minera N°1. Ministerio Fomento, Industria y Comercio (MIFIC). Managua, 20 p.
- 9) R. Billings, M. (1972). Geología Estructural. Editorial Prentice Hall, Inc. New York.
- 10) Sauster, F. (1989). Fundamento de Ingeniería Sísmica: introducción a la sismología. 1^{era} edición. Cartago. Editorial Tecnológica de Costa Rica. V.1 271p.
- 11) Segura M., Fabio. Información Sísmica de San Rafael del Sur (2005).
- 12) Segura M., Fabio & Rojas, Wilfredo. Amenaza Sísmica para el centro de la Ciudad de Managua, Nicaragua. Informe preliminar. INETER. Managua, 1996.
- 13) Segura M., Fabio. Peligrosidad Sísmica para Nicaragua. INETER. Managua, 1987.
- 14) Wilson, T (1941). Structure and Stratigraphy of the San Rafael – El Carmen Área. Department of Managua, Nicaragua. Archivo Técnico N° 129.
- 15) Zapata. R. y R. Aburto, 1985. Estudio de Riesgo Sísmico para Base # 7 de PETRONIC (Masachapa) INETER, 45p.
- 16) Zapata R. y M. Duarte, 1985. Informe preliminar sobre el riesgo sísmico para “Ampliación de la planta de Cemento” en San Rafael del Sur, INETER. 19p.

ANEXO

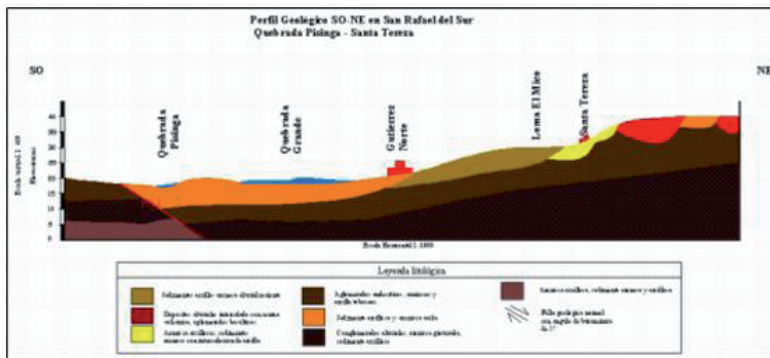
Localización de Perfiles Geológicos en Mapa Topográfico de San Rafael del Sur
a escala 1: 33,000, 2951-IV

77

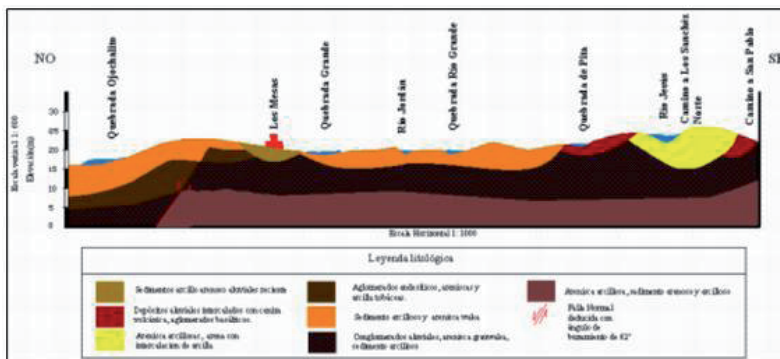
- Perfiles del suelo confeccionados a escala vertical 1:600 y escala horizontal 1:1,000 usando el software AutoCad 2005 para esa área estudiada.



a)- Loma Chocoyos – Los Hurtados en dirección NO-SE (A-A')



b)- Quebrada Pisinga-Santa Teresa en dirección SO-NE (B-B')

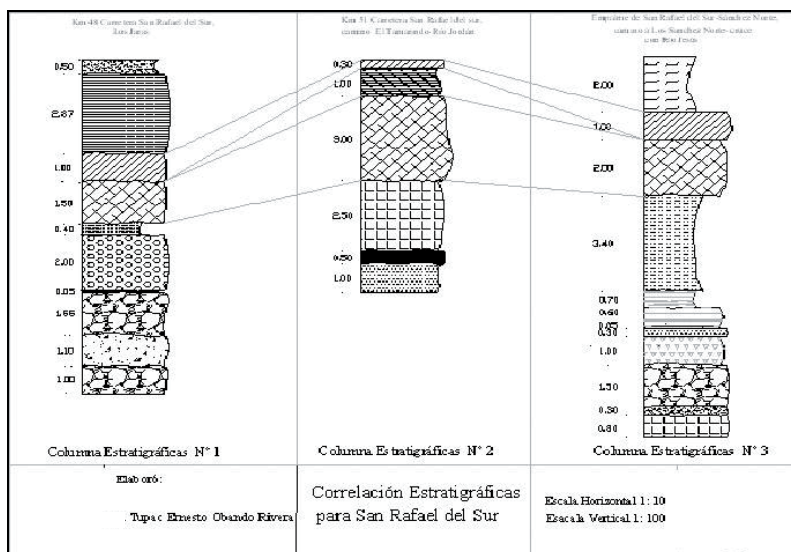


c)- Quebrada Ojochalito-Camino a San Pablo en dirección NO-SE (C-C')

- Columnas de capas de suelos y rocas a escala horizontal 1:10 y una escala vertical 1:1000 en sitio específicos dentro de la zona de estudio usando AutoCad 2005.

ERA	PERIODO	FORMACION	ALTURA (m)	CONTRASTES LITOLÓGICOS	DESCRIPCION LITOLÓGICA			
TERCIARIO	OLIGOCENO	MASACHAPA	140		Suelo arcilloso, café amarillento, incoherente, sin vegetación, agrietado, compacto			
			287		Lenteja interestratificada, amarillenta, incoherente, sin vegetación, porosa, de tamaño e espesor ale			
			100		Marcas poco de arena compacta, color amarillo-amarillo, ligeramente fracturada y maltratada, con hallazgos arcillosos en gran cantidad de arena frías debido por la vegetación.			
			120		Blanco anguloso de arena amarilla café frías, frías, maltratada e incoherente			
			140		Arenas limas interestratificadas, amarillentas, frías, maltratada, limas con contenido orgánico			
			800		Arenas frías, maltratada, de baja resistencia, amarilla café, incoherente, agrietada por la vegetación.			
			125		Conglomerado arcilloso con contenido de arena café-amarilla, maltratada y compacta			
			150		Aglomerado volcánico anguloso, de mediana resistencia, compacto, con bajo grado de fracturación y maltratado, con contenidos arcillosos.			
			120		Conglomerado arcilloso, subanguloso, coherente, maltratado sin fracturas, limas con arcillas y limas			
			100					
Elaboró: Ingeniero Oscar Flores			Km 48 Carretera San Rafael del Sur, Los Jaras		Escala Horizontal: 1:10 Escala Vertical: 1:100			
			COLUMNA ESTRATIGRÁFICA N° 1					

a)- Km 48 Carretera San Rafael del Sur, Los Jaras



d)- Correlación de columnas de estratos rocoso efectuado en San Rafael del Sur

ANEXO 3: MODELOS MATEMÁTICOS

A.3.1: Modelo Poisson

Este método, supone que los sismos se producen de modos aleatorios e independientes. Dicho de otro modo, la ocurrencia de un evento no tiene influencia en la ocurrencia de otro, y la probabilidad de que dos eventos sucedan en el mismo sitio y al mismo tiempo es casi cero. Esta ley de Poisson se expresa:

$$P_n(t) = e^{-kt} (kt)^n / n!$$

Donde:

P_n(t) = probabilidad de ocurrencia de n eventos en un intervalos de tiempo t

n= numero de eventos

K= tasa o frecuencia media de ocurrencia por unidad de tiempo.

La ecuación anterior da la probabilidad de que ocurra n eventos en un período de tiempo t. Para obtener la probabilidad de tener al menos un evento mismo intervalo de tiempo t, se emplea la expresión:

$$P[\text{al menos un evento en tiempo } t] = 1 - e^{-kt}$$

Por otra parte, la probabilidad de que la aceleración A exceda determinado valor **a** en un tiempo **t** está dado por funciones de distribución de probabilidades en la siguiente relación:

$$(1-p)^n = 1 - P_n$$

En la cual:

P_n = probabilidad de que el valor sea excedido en **n** años

P = probabilidad de que el valor sea excedido en un año.

La probabilidad de excedencia en un año **p**, está relacionada con el período de retorno por la expresión:

$$Pr = 1/p$$

El objetivo de los planteamientos matemáticos es encontrar las normas de comportamiento de sistemas reales, y traducirlas a modelos como expresiones matemáticas que permita trabajar el problema en el papel como uno de naturaleza enteramente matemática.

Del conocimiento que tenemos acerca del comportamiento de los sismos sabemos que estos se atenúan o amplifican a medida que nos acercamos o alejamos de la fuente causativa (falla geológica o sismos de subducción)

A.3.2: Relaciones Habituales utilizadas en los estudios de peligros sísmico

A partir de los datos de observación de sismos registrados instrumentalmente se han elaborado relaciones empíricas entre la magnitud de los terremotos ($^{\circ}R$) y aceleraciones horizontales del suelo (cm/s^2). Algunas de las relaciones más utilizadas son las siguientes:

La mayoría de las relaciones de atenuación propuesta no son válidas cerca de la falla o Fuentes sísmica. Las ecuaciones son determinados con base a valores de aceleraciones registrados en distintos países. En el **Cuadro 4** pueden verse ecuaciones de aceleración usadas:

Cuadro 6: Relaciones de atenuación sísmica habituales.

Ecuación	Autor(es)
$a = 2000e^{0.8M}/R^2 + 400$	Esteva y Rosenbleth(1964)
$a = 5000 e^{0.8M}/(R + 40)^2$	Esteva(1967)
$a = 1080 e^{0.5M}/(R + 25)^{1.32}$	Donovan(1973)
$a = 5600 e^{0.8M}/(R + 40)^2$	Esteva y Villarde(1974) válida para $R > 15\text{km}$
$a = 0.0159 e^{0.868M}/(R + 0.060e^{0.7M})^{1.09}$	Campbell(1981) (Véase Mapa 4)
$a = 12.783 \times 10^6/(R+25)^{-2.77}$	Donovan(1974) San Fernando
$a = 1230e^{0.8M}/(R+25)^{-2}$	Esteva (1970)
$a = 472 \times 10^{0.28M}/(R+25)^{-1.3}$	McGuire (1974)

En Centro América se han obtenido leyes de atenuación de ondas sísmicas utilizando acelerogramas analógicos de registros de sismos en los diferentes países de la región. Las expresiones de atenuación más acorde con la geología de la región (Segura et al., 1994; Climent et al., 1994; Dhale et al. 1995)

Las expresiones de Climent et al., (1992) tienen la forma:

$$\log \text{PGA} = -1.687 + 0.553M_w - 0.537\ln R - 0.00302R \quad (\text{Para roca})$$

La ecuación anterior se ha utilizado por GSHAP (1999) en la elaboración del Mapa de Amenaza Sísmica en Nicaragua a escala 1:750,000 con la colaboración de INETER y organismos internacionales. Por tanto, se modificó a escala 1:32,000 para el sitio de estudio. **(Véase Mapa 6)**

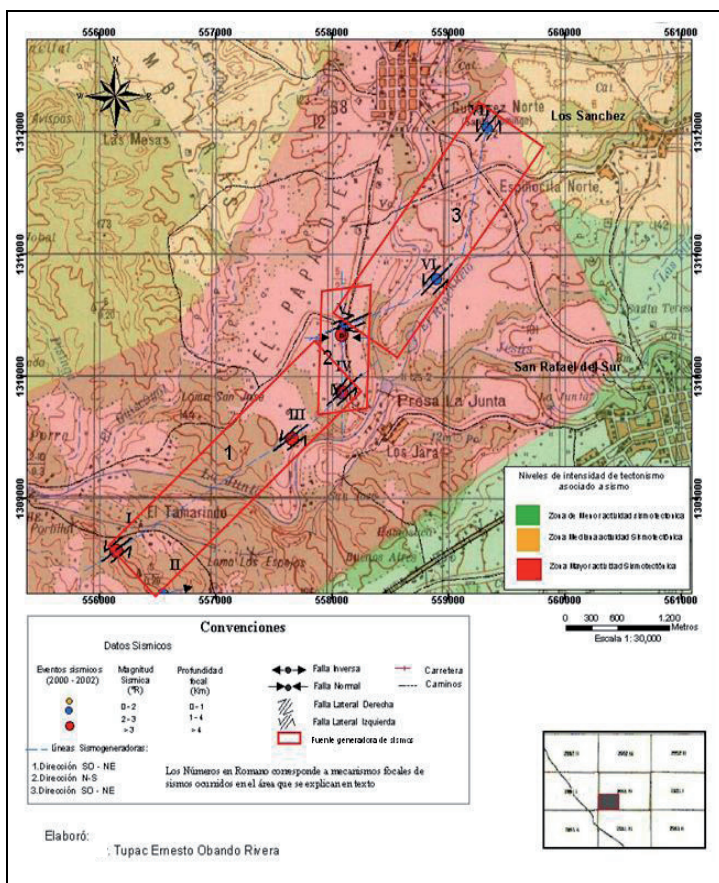
$$\log \text{PGA} = -1.408 + 0.553M_w - 0.537\ln R - 0.00302R \quad (\text{Para suelo})$$

Donde: PGA es la aceleración pico
 M_w magnitud momento
R distancia epicentral

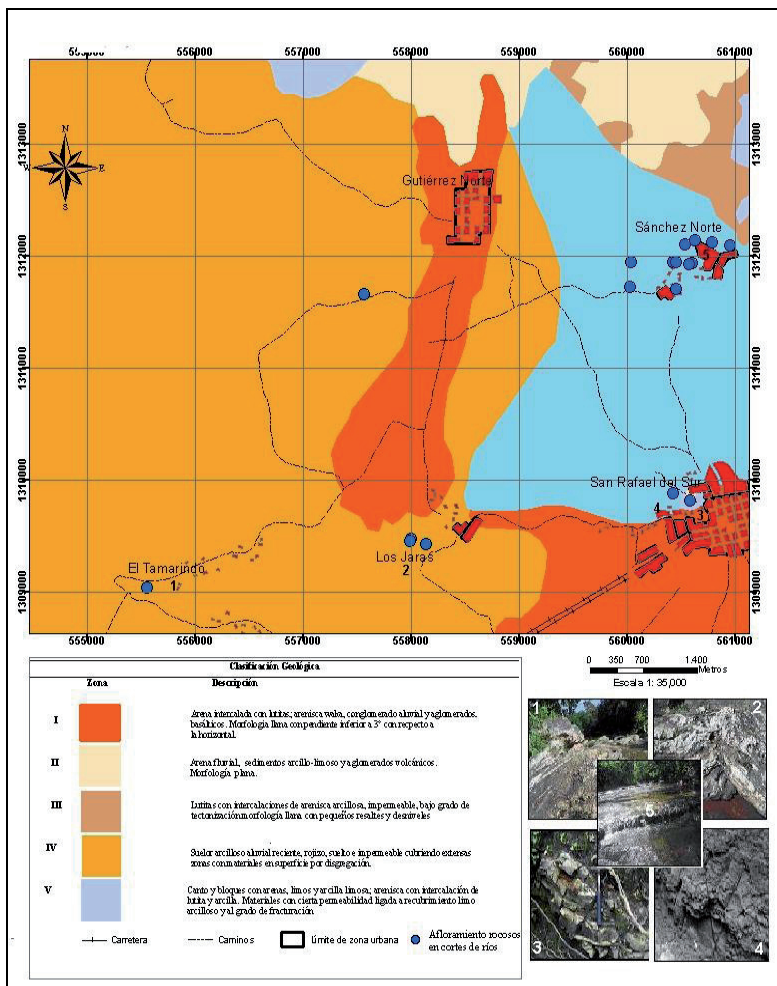
Para la delimitación de las aceleraciones pico del suelo (PGA) se empleó una rejilla de 320 m² como se muestra en el **Mapa 6**. Además, se seleccionó la fórmula de atenuación sísmica (en roca) antes resaltada en negrita. Esta es aplicable a regiones cercanas al epicentro, tal como es caso de San Rafael del Sur y alrededores.

ANEXO 4. PRODUCTOS CARTOGRAFICOS GENERADOS

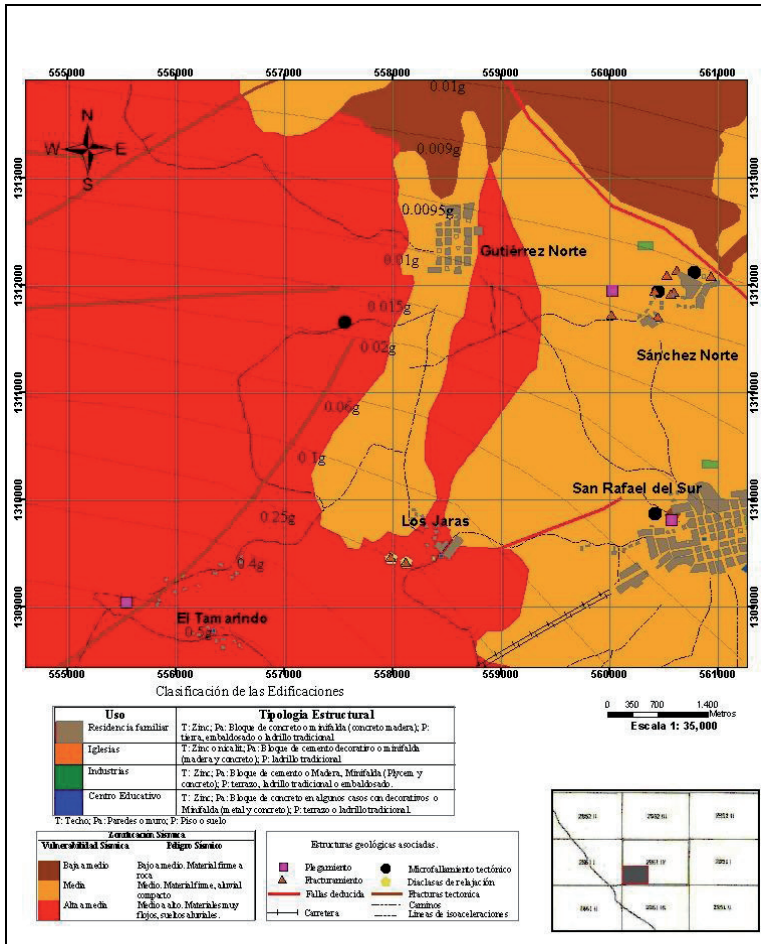
- Localización y distribución espacial de sismos recientes y pasados y/o de las zonas afectadas, así como las características de los mismos (magnitud, profundidad focal, duración, mecanismos de ruptura, y otros)(Véase a continuación Mapa 2)



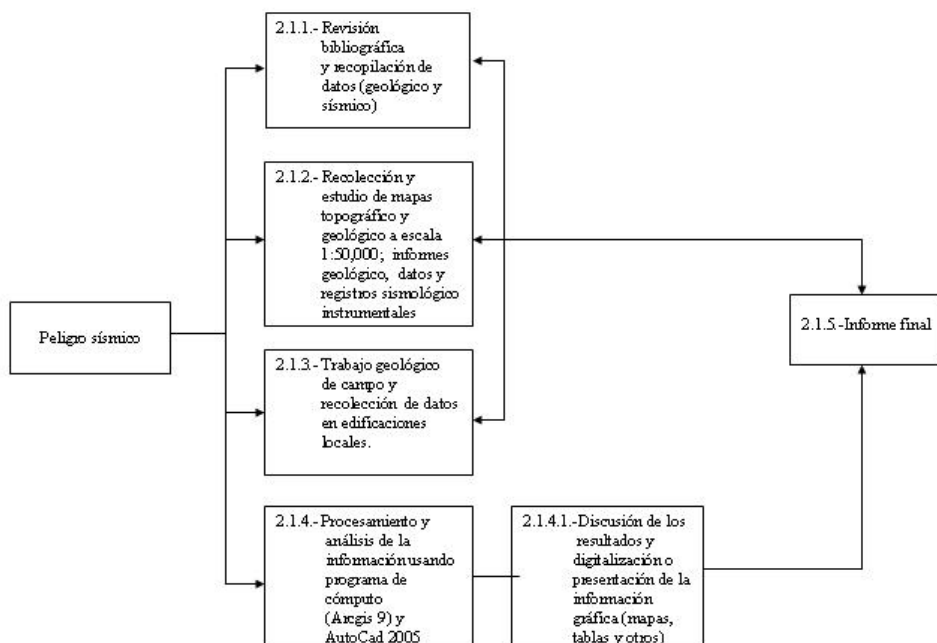
- Descripciones geológicas de campo en cortes de ríos y afloramientos referente a tipos y características de las rocas y suelos, comportamiento mecánico, grado de meteorización, estratigrafía, estructuras sedimentarias y actividad tectónica. (Véase a continuación Mapa 3)



- Cartografía de la infraestructura física que pueden ser afectados, uso y tipología estructural; disponibilidad y localización de vía de acceso y telecomunicaciones. (Véase Mapa 4)



ANEXO 5. PRODUCTO METODOLÓGICO OBTENIDO

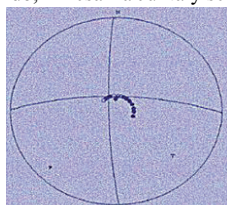


Representación de etapas metodológicas.

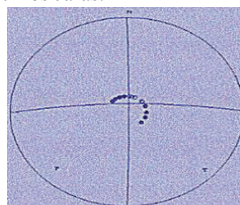
ANEXO 6: MECANISMOS FOCALES DESARROLLADOS AL NOROESTE DE SAN RAFAEL DEL SUR

Se representan 3 líneas fuentes sismogeneradoras específicas caracterizadas por la forma espacial de distribución de los epicentros, dimensión y orientación específica, magnitudes y mecanismos de rupturas locales³, detallado a continuación.

- Línea Fuente N° 1, integrada por mecanismos de ruptura I y III, muestra segmento recto de dirección SO – NE en un área de 3km², el cual contiene fallas laterales izquierdas y una falla normal. Ambas relacionadas con sismos de magnitud mayor a 3° Richter y profundidad focal mayor a 4km, afectando las comunidades de El Tamarindo, Presa La Junta y sector NO de Los Jaras.



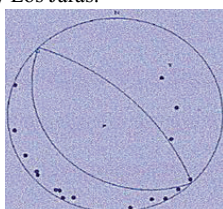
a): I



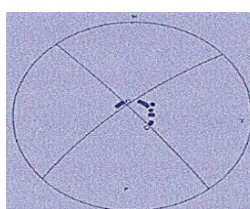
b): III

a).- Sismo con magnitud de 3.5° Richter, profundidad focal de 100 m ocurrido a 05:24Hrs con rumbo de 271° y buzamiento 72° asociado a falla lateral izquierda obtenida del mecanismo de ruptura I. b).- Sismo con magnitud de 3.0° Richter, profundidad focal de 0 m ocurrido a 05:24Hrs con rumbo de 270° y buzamiento 80° asociado a falla lateral izquierda obtenida del mecanismo de ruptura III

- Línea Fuente N° 2, conformada por mecanismos de ruptura IV y V, presenta una forma rectilíneo con dirección N-S en un área de 2km², el cual encierra fallas laterales izquierda y derecha asociadas a epicentros con magnitudes que oscila entre 2 - 3° Richter y distancia focal de 1 y 4 km, afectando las comunidades la presa La Junta y Los Jaras.



a): IV

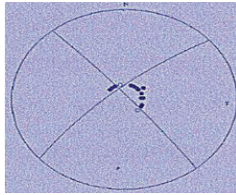


b): V

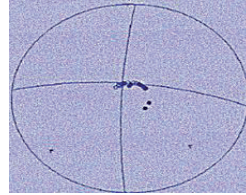
a).- Sismo con magnitud de 2.6 Richter, profundidad focal de 8.5km ocurrido a 05:20Hrs con rumbo de 220° y buzamiento 10° asociada falla normal obtenida del mecanismo de ruptura IV. b).- Sismo con magnitud de 2.8° Richter, profundidad focal de 8km ocurrido a 05:20Hrs con rumbo de 315° y buzamiento 65° asociado a falla lateral derecha obtenido del mecanismo de ruptura V

Observación. Procedimiento en sismología obtenido aplicando el software SunSystem X-Win 32 para el cálculo de elementos estructurales y características sísmicas específicas como las presentadas en este acápite.

- Línea Fuente N° 3, compuesta por los mecanismos de ruptura VI y VII, se halla asociada con sismo de magnitudes que oscila entre de 0 – 2 ° Richter y profundidad focal que varia entre 1-4km describiendo una trazo recto de dirección SO – NE en un área de 3km² que contiene a fallas laterales izquierdas, afectando la comunidad Gutiérrez Norte y el NO de Los Sánchez Norte.



a): VI



b): VII

a).- Sismo con magnitud de 2.5° Richter, profundidad focal de 1.1km ocurrido a 05:20Hrs con rumbo de 229° y buzamiento 76° asociada falla lateral izquierda obtenida del mecanismo de ruptura VI. b).- Sismo con magnitud de 3.6° Richter, profundidad focal de 1km ocurrido a 04:21Hrs con rumbo de 276° y buzamiento 72° asociado a falla lateral izquierdo obtenido del mecanismo de ruptura VII.

ACERCA EL AUTOR

TUPAK ERNESTO OBANDO RIVERA realizó sus estudios universitarios en la Facultad de Ciencias e Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (UNAN, Managua), obteniendo el título de Ingeniero en Geología en 2,005. En esa fecha, se integró a la Dirección de Geología Aplicada del Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (Ineter, Managua), donde realizó su actividad profesional exitosamente. Posteriormente, prosiguió estudios de Postgrado en la Sede Iberoamericana Santa María La Rábida en la Universidad Internacional de Andalucía (UNÍA, Huelva, España), donde obtuvo un Máster en 2,007. Seguidamente, curso las enseñanzas y supero las pruebas de evaluación del I Programa Interuniversitario de Doctorado en Geología y Gestión Ambiental de los Recursos Minerales en la UNÍA (España), donde obtuvo un doctorado en el año 2010. Luego de su regreso a Nicaragua, fue profesor titular del Departamento de Física de la Facultad de Ciencias e Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (UNAN, Managua), participando en investigación y docencia pre y postgrado en el área de **Ingeniería Geológica e Hidrogeología**. En el 2011, fue consultor del Proyecto *Análisis e Incorporación de la Gestión de Riesgos a Planes Municipales* en Nicaragua impulsado por el Sistema Nacional de Prevención, Mitigación y Atención a Desastres Naturales (**SINAPRED**, Managua) y el Banco Internacional de Desarrollo (**BID**, sede en Managua), realizando una evaluación completa de la gestión del riesgo de desastres naturales en todo el territorio nacional. A lo largo de su carrera académica ha publicado más de 200 trabajos científicos (puede consultar su catalogo en www.monografias.com), incluyendo artículos de presentaciones en congresos de especialidad, en diferentes tópicos de geología, medio ambiente, geotecnia, sismología, vulcanología, ingeniería geológica y gestión ambiental. Durante su carrera ha mantenido una estrecha vinculación con el sector público y privado, tanto en Nicaragua como en el extranjero, participando en estudios científicos y asistencias técnicas en Ingeniería Geológica. En el 2012 fue convidado por la **Editorial Académica Española (eae)** para publicar su libro titulado *Valoración del Impacto Ambiental en Cerro Motastepe (Managua, Nicaragua, 2012)*, con resultados satisfactorios. Actualmente el libro que Usted tiene en sus manos es su último proyecto desarrollado a la fecha, y con otros programas académicos y científicos por concluir favorablemente en el año 2013. Teléfono de contacto: (505) 22803022/ (505) 87999027. Correo electrónico: tobando_geologic@yahoo.com



MoreBooks!
publishing



yes **i want morebooks!**

Buy your books fast and straightforward online - at one of world's fastest growing online book stores! Environmentally sound due to Print-on-Demand technologies.

Buy your books online at
www.get-morebooks.com

¡Compre sus libros rápido y directo en internet, en una de las librerías en línea con mayor crecimiento en el mundo! Producción que protege el medio ambiente a través de las tecnologías de impresión bajo demanda.

Compre sus libros online en
www.morebooks.es



VDM Verlagsservicegesellschaft mbH

Heinrich-Böcking-Str. 6-8
D - 66121 Saarbrücken

Telefon: +49 681 3720 174
Telefax: +49 681 3720 1749

info@vdm-vsg.de
www.vdm-vsg.de

