



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA
UNAN - MANAGUA

RECINTO UNIVERSITARIO RUBÉN DARÍO
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA
INGENIERÍA GEOLÓGICA

**CARACTERIZACIÓN DE LA AMENAZA SÍSMICA EN LA CIUDAD DE
MANAGUA, NICARAGUA.**

Informe de investigación para optar al Título de Ingeniero Geólogo

Participantes:

- Br. María Cristina Solano Jarquín 13046277
- Br. Dani José Rueda Pérez 12044781
- Br. Ligia Lorena Chavarría Flores 13046640

Tutor: MSc. Xóchilt Esther Zambrana Áreas

Asesor: MSc. Gema Velásquez

Asesor metodológico: MSc. Karen Acevedo Mena

Managua, 2021

**CARACTERIZACIÓN DE LA AMENAZA SÍSMICA EN LA CIUDAD DE
MANAGUA, NICARAGUA.**

Dedicatoria

A Dios por darme la vida y la sabiduría que me ha permitido finalizar mi carrera universitaria.

A mis padres Antonio Solano Flores y Lucrecia Jarquín Martínez, por sus oraciones y el apoyo incondicional por enseñarme a valorar y enfrentar los desafíos de la vida, nos han enseñado que nada es imposible y que todo se puede lograr si uno se lo propone con empeño y esfuerzo.

A mi esposo Oscar Mena y mi querida hija Elisa Brisol que han sido mi fuente de inspiración y fuerza para lograr cada meta propuesta, no me cansaré para tratar de hacerlos sentir cada vez más orgullosos.

Br. María Cristina Solano Jarquín.

Dedicatoria

Dedico este seminario primeramente a Dios por darme vida para llegar hasta aquí, por dotarme de sabiduría e inteligencia para poder culminar mis estudios, porque de él aprendí a esforzarme hasta llegar a la meta.

A mis padres: Erwin José Rueda y Elsa María Pérez por apoyarme siempre y ser un pilar fundamental en mi formación profesional, por ser ejemplo de lucha y por todos los sacrificios hechos por mí a lo largo de esta carrera.

A mi esposa Rebeca Saballos por motivarme a seguir adelante e inspirarme a ser una persona determinada y esforzada, siempre dispuesto a seguir adelante sin retroceder.

Br.: Dani José Rueda Pérez

Dedicatoria

A Dios por permitirme haber llegado hasta este momento tan importante como es culminar mi formación profesional.

A mis padres Juan Chavarría Mendoza y Ligia Flores Castillo quienes fueron de apoyo incondicional, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años.

A mis maestros que nunca desistieron al enseñarme y compartir sus conocimientos.

A todas las personas que desinteresadamente me ayudaron a cumplir mis metas.

Br. Ligia Lorena Chavarría Flores

Agradecimiento

Agradecemos primeramente a Dios al dador de la vida, porque hasta aquí hemos llegado gracias a él, por darnos salud y dotarnos de inteligencia para poder asimilar todos los conocimientos impartidos a lo largo de la carrera, por darnos luz en momentos de confusión y siempre poner en nuestro camino a las personas indicadas para ayudarnos.

A nuestras familias por el apoyo incondicional, el amor y paciencia que nos manifestaron a lo largo de este camino, por la comprensión en momentos difíciles y siempre estar allí para motivarnos a seguir adelante.

Al equipo docente del Departamento de Tecnología de la Facultad de Ciencias e Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (UNAN-Managua), por darnos la oportunidad de formarnos como profesionales y por impactar de forma positiva nuestras vidas al inyectar sueños y aspiraciones que nos motivan a ser los futuros pioneros en las diferentes especialidades de nuestra carrera.

Queremos agradecer en especial a nuestra tutora MSc. Xóchilt Zambrana, por brindarnos su apoyo incondicional, compartir sus conocimientos adquiridos en su larga trayectoria de formación profesional, por tenernos paciencia y nunca rendirse con nosotros.

A nuestra asesora Msc. Gema Velásquez, por su apoyo como docente desde que iniciamos el estudio de las ciencias geológicas, hasta culminar esta carrera con nuestro Seminarito de graduación.

Muchas Gracias...



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA
UNAN MANAGUA

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA

Managua, Nicaragua 18 de Agosto 2021.

Msc. Elin Campos Pérez
Director de Departamento de tecnología,
Facultad de Ciencias e Ingenierías.

Estimado Msc. Campos

Por este medio hago constar que he dado por finalizado el proceso de revisión y corrección de tesis monográfica que he dirigido, titulada "Caracterización de la Amenaza Sísmica en la Ciudad de Managua, Nicaragua", elaborada por: Br. María Cristina Solano Jarquín, Br. Dani José Rueda Pérez y Br. Ligia Lorena Chavarria Flores.

Solicito de la manera más atenta que los estudiantes puedan culminar el proceso de graduación.

Sin más que hacer referencia me despido, deseándoles muchos éxitos en su labor.

Atentamente


Msc. Xochitl Zambrana
Docente Titular
Departamento de tecnología
Facultad de Ciencias e Ingenierías

Cc: Msc. Francisco Espinoza, Coordinador de la Carrera de Ingeniería en Geología,
Facultad de Ciencias e Ingenierías

¡A la Libertad por la Universidad!

Resumen

La estimación de la amenaza sísmica es de suma importancia, mediante dicha evaluación se determina el comportamiento del terreno ante el paso de la onda sísmica y en general en la toma de decisiones con la finalidad de prevención y mitigación ante el impacto de los sismos.

Esta investigación tiene como objetivo general elaborar una “Caracterización de la amenaza sísmica en la ciudad de Managua, Nicaragua”, a través de los objetivos específicos: Calcular magnitud momento de las principales fallas geológicas de Managua, a partir de su desplazamiento. Analizar datos de microtremores y cuantificar parámetros dinámicos como frecuencias, periodos, amplificaciones de los suelos mediante la técnica Nakamura distribuidos en el área de la ciudad de Managua. Estimar un modelo de velocidad de la onda de corte (V_s) a partir de un registro de microtremores el área de estudio. Este trabajo aporta elementos que son de mucha utilidad para una evaluación más integral de la amenaza sísmica y previendo el comportamiento del suelo de la ciudad de Managua frente a futuros movimientos sísmicos.

La investigación corresponde a un estudio Descriptivo de enfoque Cuantitativo, según la línea del tiempo: Prospectivo y de corte transversal. Los instrumentos utilizados fueron: libreta de campo, brújula, piqueta, GPS, mapas de ubicación, cinta métrica, cámara fotográfica, se empleó el equipo McSEIS-MT NEO, para la obtención de datos de microtremores y se recolecto información, a través de investigaciones y estudios previos realizados en el área de Managua, relacionados con el tema de estudio.

Se procedió a realizar la investigación de campo y análisis de mapas de fallamiento de la ciudad de Managua, se calculó la magnitud momento mediante análisis matemáticos a partir de su desplazamiento en cada una de las principales fallas geológicas de la ciudad, obteniendo un valor aproximado para cada falla en futuros eventos sísmicos. Se llevó a cabo el análisis de datos de microtremores y cuantificación de parámetros dinámicos como frecuencia, periodo y amplificación de los suelos, mediante la Técnica de Nakamura, con el fin de evaluar la amenaza sísmica en distintos puntos de Managua y se estimó un modelo de

velocidad de la onda de corte (V_s) a partir de registros de microtemores en cada una de las zonas estudiadas, para apreciar de manera gráfica la litología del subsuelo mediante una columna litológica de tres unidades, con sus respectivas profundidades y espesores.

Contenido

INDICE DE FIGURAS	16
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ANTECEDENTES	2
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	6
4. JUSTIFICACIÓN	7
5. OBJETIVOS	8
5.1. Objetivo General.....	8
5.2. Objetivos Específicos	8
6. LOCALIZACIÓN Y ACCESO	9
Figura 1. Mapa de localización del área de estudio.	10
7. MARCO TEÓRICO	11
7.1 Geotectónica de Nicaragua	11
Figura 2. Mapa geotectónico de América Central.	11
7.2 Geología Regional de Nicaragua	12
Figura 3. Provincias geológicas de Nicaragua	12
7.2.1. Provincia Geológica de Las Planicies de la Costa del Pacífico	13
7.2.2. Provincia Geológica de La Depresión de Nicaragua	13
7.2.3. Provincia Geológica Central de Nicaragua	13
7.2.4. Provincia geológica del Norte.....	14
7.2.5. Provincia de los llanos de la Costa Atlántica	14
7.3. Sismicidad del Margen del Pacífico de Nicaragua.....	15
Figura 4. Sismicidad en la costa del Pacífico de Nicaragua durante el periodo de 2010-2018. 15	

Figura 5. Sismicidad en la costa del Pacifico de Nicaragua en un intervalo de tiempo del 2010 al 2018.	16
7.4. Características geológicas de Managua	17
7.4.1 Litología	17
7.4.2 Formación La Sierra	17
Figura 6. Estratigrafía de los depósitos piroclásticos de Managua	18
7.4.3 Formación Managua	19
7.4.4 Formación Chiltepe.....	20
7.3 Geología estructural de Managua	21
7.6 Graben de Managua	22
Figura 7. Fallas de Managua.	24
7.5. Sismicidad en Managua	25
Figura 8. Palacio Nacional después del terremoto 1973.	25
Figura 9. Ruinas del edificio Foto Lux.Barrio San Antonio, calle 15 de septiembre, Managua 1972.	26
7.8 Ondas Sísmicas	28
7.8.1. Tipos de ondas sísmicas	28
Figura 10. Modelo de propagación de la onda P.	29
Figura 11. Modelo de la propagación de la onda S.	30
7.8.2 Ondas Superficiales.....	30
Figura 12. Modelo de propagación de la onda R	31
Figura 13. Modelo de la propagación de la onda L	32
7.9 Amenaza Sísmica	32
7.9.1 Efecto de Sitio	32
Figura 14. El comportamiento de las ondas sísmicas en el sedimento y la roca sólida	

Figura 15. Principales fuentes que generan los microtemores, fuentes naturales y fuentes artificiales.....	34
7.9.4. Parámetros dinámicos de los suelos.....	36
7.9.5 Modelo de velocidad de Onda de Corte.....	37
7.9.6 Magnitud Momento, (Mw)	38
8. HIPOTESIS	41
9. DISEÑO METODOLÓGICO	42
9.1. Tipo de Estudio	42
9.1.1 Descriptivo	42
9.1.2 Cuantitativo	42
9.1.3 Prospectivo.....	42
9.1.4 Transversal	42
9.2. Área de estudio.....	42
9.3. Universo y Muestra.....	42
9.4. Operacionalización de variables.....	43
9.5. Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos e información	44
Figura 16. Herramientas de levantamiento de campo.....	44
9.6. Procedimientos para la recolección de datos e información	45
Figura 17. Mapa de ubicación de puntos analizados, pertenecientes a cada una de las zonas de estudio.....	46
10. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	47
10.1 Calculo de Magnitud Momento (Mw) de las principales Fallas de Managua... 47	47
10.1.1 Falla Mateares	47
Figura 18. Escarpe de la falla Mateare.	48
10.1.2. Falla Nejapa.....	51
Figura 19. Alineamiento Nejapa-Miraflores.....	52

10.1.3 Falla San Judas.....	54
Figura 20. Falla San Judas	55
10.1.4 Falla Estadio	57
Figura 21. Mapa de Falla Estadio.....	58
10.1.5 Falla Tiscapa.....	60
Figura 22. Laguna de Tiscapa, donde atraviesa la falla del mismo nombre	61
10.1.6 Falla Aeropuerto	63
Figura 23. Mapa de Sistema de falla Aeropuerto.....	64
10.1.7 Falla Cofradía.....	66
Figura 24. Sistema de falla Cofradía.	67
10.2 Análisis de datos de Microtremores y cuantificación de parámetros dinámicos.	
.....	71
10.2.1 Procesamiento de Registros de Microtremores	71
10.2.2 Registros de Microtremores	71
Figura 25. Parámetros de configuración de entrada del programa Wavemic2009v4e.	
71	
Figura 26. Registros de vibración ambiental del suelo y transformación de Fourier	
de las componentes N-S, E W y U-D del punto número 1.....	72
10.2.3. Determinación de la función de transferencia empírica (FTE).....	73
Figura 27. Ejemplo del promedio de una Función de Transferencia Empírica (FTE)	
para el punto 1. Zona Asososca.	73
10.2.4. Análisis de característica dinámicas de los suelos en la zona de estudio	74
10.3 Estimación Modelos de Velocidad Vs y Vp en la Ciudad de Managua.	78
Figura 28. Modelo estratigráfico teórico del punto de medición 27 zona UNAN-	
Managua 79	

Figura 29. Perfil del subsuelo del punto de medición 27, zona de la UNAN-Managua.	
80	
Figura 30. Modelo estratigráfico teórico del punto de medición 1, zona Asososca...	81
Figura 31. Perfil del subsuelo del punto de medición 1, zona de la Asososca.....	82
Figura 32. Modelo estratigráfico teórico del punto de medición 29, zona Aeropuerto	
83	
Figura 33. Perfil del subsuelo del punto de medición 29, zona de Aeropuerto	84
10.4 Discusión	85
11. CONCLUSIONES	87
12. RECOMENDACIONES	89
BIBLIOGRAFÍA	90
Anexos I.....	93
Anexos II.....	94
Anexo III.....	103

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Descripción de las principales fallas de Managua, Nicaragua	27
Tabla 2: Fuente generadora de microtemores y su rango de frecuencia.....	34
Tabla 3: Clasificación del suelo de acuerdo al Reglamento Nacional De La Construcción (Rnc-07)	38
Tabla 4: Operacionalización de variables.	43
Tabla 5: Parámetros de las principales fallas de Managua.....	70
Tabla 6: Periodos de vibración en cada una de los puntos medidos en la zona- Asososca.....	74
Tabla 7: Periodo de vibracion en cada uno de los puntos medidos en la zona- Aeropuerto.	75
Tabla 8: Periodo de vibración en cada uno de los puntos medidos en Managua.	76
Tabla 9: Periodo de vibracion en cada uno de los puntos medidos en la zona-Unan- Managua.....	77

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Mapa de localización del área de estudio.	10
Figura 2.	Mapa geotectónico de América Central.	11
Figura 3.	Provincias geológicas de Nicaragua	12
Figura 4.	Sismicidad en la costa del Pacífico de Nicaragua durante el periodo de 2010-2018. 15	15
Figura 5.	Sismicidad en la costa del Pacífico de Nicaragua en un intervalo de tiempo del 2010 al 2018.	16
Figura 6.	Estratigrafía de los depósitos piroclásticos de Managua	18
Figura 7.	Fallas de Managua.....	24
Figura 8.	Palacio Nacional después del terremoto 1973.	25
Figura 9.	Ruinas del edificio Foto Lux.Barrio San Antonio, calle 15 de septiembre, Managua 1972.	26
Figura 10.	Modelo de propagación de la onda P.	29
Figura 11.	Modelo de la propagación de la onda S.	30
Figura 12.	Modelo de propagación de la onda R	31
Figura 13.	Modelo de la propagación de la onda L.....	32
Figura 14.	El comportamiento de las ondas sísmicas en el sedimento y la roca sólida 33	33
Figura 15.	Principales fuentes que generan los microtemores, fuentes naturales y fuentes artificiales.....	34
Figura 16.	Herramientas de levantamiento de campo.	44
Figura 17.	Mapa de ubicación de puntos analizados, pertenecientes a cada una de las zonas de estudio.....	46
Figura 18.	Escarpe de la falla Mateare.	48
Figura 19.	Alineamiento Nejapa-Miraflores.....	52

Figura 20.	Falla san Judas.....	55
Figura 21.	Mapa de Falla Estadio.....	58
Figura 22.	Laguna de Tiscapa, donde atraviesa la falla del mismo nombre	61
Figura 23.	Mapa de Sistema de falla Aeropuerto.....	64
Figura 24.	Sistema de falla Cofradía.	67
Figura 25.	Parámetros de configuración de entrada del programa Wavemic2009v4e.	71
Figura 26.	Registros de vibración ambiental del suelo y transformación de Fourier de las componentes N-S, E W y U-D del punto número 1.....	72
Figura 27.	Ejemplo del promedio de una Función de Transferencia Empírica (FTE) para el punto 1. Zona Asososca.	73
Figura 28.	Modelo estratigráfico teórico del punto de medición 27 zona UNAN-Managua	79
Figura 29.	Perfil del subsuelo del punto de medición 27, zona de la UNAN-Managua.	80
Figura 30.	Modelo estratigráfico teórico del punto de medición 1, zona Asososca... 	81
Figura 31.	Perfil del subsuelo del punto de medición 1, zona de la Asososca.....	82
Figura 32.	Modelo estratigráfico teórico del punto de medición 29, zona Aeropuerto	83
Figura 33.	Perfil del subsuelo del punto de medición 29, zona de Aeropuerto	84

1. INTRODUCCIÓN

La ciudad de Managua se localiza en la región del Pacífico, esta zona se encuentra en el margen de subducción dentro de la depresión tectónica conocida como graben de Nicaragua, el graben tiene una profundidad de 300 km y una longitud de 70 km de ancho, formando una estructura tectónica activa que atraviesa el territorio nacional en el sector occidental de manera paralela a la costa del Pacífico McBirney, A y Williams, H. (1965).

La geología y estratigrafía de Managua se asienta en una superficie plana que se inclina hacia el norte, la topografía aumenta a medida que avanza hacia el Sur de la ciudad y disminuye a medida que avanza hacia el lago Xolotlán, su relieve está caracterizado principalmente por la presencia de formaciones de origen volcánico entre los cuales tenemos: cráteres Tiscapa, Nejapa, Asososca, Valle Ticomo y otros (Obando, 2009)

El área de estudio se ubica dentro del graben de Managua de orientación norte-sur, de tipo extensional y tectónicamente activa que disloca la cadena volcánica nicaragüense en sentido derecho por una distancia de ~13 km. Frischter, A. (2002). Todas estas características representan un alto riesgo sísmico debido a las numerosas fallas geológicas que atraviesan la zona, que en el pasado ha sido afectada por terremotos destructivos que han quedado registrado a lo largo de la historia como ocurrió en el año 1931, 1968 y el terremoto de 1972 que destruyó gran parte de la zona urbana de la ciudad.

Esta investigación tiene como objetivo caracterizar la amenaza sísmica en la ciudad de Managua, Nicaragua; para esto se calculó la magnitud momento de las principales fallas geológicas de Managua, a partir de su desplazamiento para futuros eventos sísmicos, se analizaron datos de Microtremores y cuantificamos parámetros dinámicos como frecuencia, periodo y amplificación de los suelos, recolectados en distintos puntos de Managua con la técnica de Nakamura, también se estimó un modelo de velocidad de la onda de corte (Vs) a partir de registros de microtremores en las zonas estudiadas.

2. ANTECEDENTES

La ciudad de Managua localizada en la región del Pacífico se encuentra atravesada por numerosas fallas, que dieron origen a los terremotos que más destrucción han provocado en la ciudad, como el terremoto del año 1931 y 1972, lo cual despertó el interés en estudiosos nacionales e internacionales, dando como resultado una serie de estudios entre los más relevantes encontramos los siguientes:

Woodward y Clyde Consultants., (1975) ejecutaron un estudio geológico con el nombre de “Investigation of active faulting in Managua, Nicaragua and vicinity, Managua, 1975” este estudio fue realizado después del terremoto ocurrido en 1972, dándonos aporte como clasificación litológica, presenta una descripción de las fallas principales con su respectivas denominaciones, parámetros y características, así como la orientación de cada una de ellas.

INETER., (2000) hicieron un estudio geológico llamado “Microzonificación sísmica de Managua” este estudio se hizo con el fin de resumir los datos geológicos, geodésicos, sísmicos y geotectónicos de la ciudad, dándonos una descripción amplia de las fallas sísmicas ubicadas en Managua. En este informe podemos conocer sobre las altas probabilidades de ocurrencia de terremotos en Managua, dando un aporte importante en la parte sísmica a nuestro tema de investigación.

Frischbutter., (2002) desarrolló una investigación con el nombre “Structure of the Managua graben, Nicaragua, from remote sensing images” donde toma como referencia datos sísmológicos del terremoto de 1972, concluyendo que la zona de fallas del lago de Managua son estructuras complejas de importancia regional con dirección N-S y se presentan en su mayoría como fallas oblicuas con componentes de movimiento lateral derecho, en combinación con fallas marginales en dirección NW de la depresión de Managua.

INETER., (2002) ejecutó un trabajo de investigación con el nombre de “Actualización del Mapa de Fallas Geológicas de Managua” en este informe se presentan los resultados de la actualización del mapa de fallas de la ciudad de Managua, donde se creó una base de datos

en formato SIG y el estudio de las fallas en el campo. Se estableció la localización y la prolongación de las fallas geológicas basándose sobre métodos estratigráficos, geomorfológicos y geofísicos. Para determinar con mejor certeza la amenaza sísmica de Managua.

Cowan., (2002) realizó un artículo con el nombre “Late Holocene Earthquake on the Aeropuerto Fault , Managua, Nicaragua” donde menciona que Managua está establecida sobre un graben densamente fallado en una discontinuidad importante en Centroamérica, menciona también que los terremotos moderados poco profundos (M_s 6–6,2) rompieron fallas con efecto devastador en el corazón de la ciudad de Managua en 1931 y 1972, concluyendo con el análisis de la Falla Aeropuerto que tiene una tasa de deslizamiento aproximada entre 0.3mm y 0.9mm por año.

Girard G. y Van Wyk de Vries B., (2004) desarrollaron un artículo llamado “The Managua Graben and Las Sierras-Masaya volcanic complex (Nicaragua); pull-apart localization by an intrusive complex: results from analogue modeling” donde describen la relación geológica entre el complejo volcánico de Masaya y el Graben de Managua o pull-apart, dándonos importante información como los esfuerzos que causa el volcán sobre el Graben, ya que volcanes en escudo como lo es el caso de Masaya, pueden alterar la dirección de las fallas. Se ha comprobado en otros estudios hechos en diferentes regiones del país, que comprueban que los cuerpos intrusivos pueden influir en zonas de debilidad geológica.

Martínez González., (2012) ejecutó una tesis monográfica nombrada “Análisis morfoestructural del Graben de Managua y sus alrededores” con el objetivo de realizar un análisis e interpretación morfoestructural del Graben de Managua y sus alrededores a escala 1:50,000, tomando en cuenta los parámetros geoestructurales que existen en el área, en este estudio se presentan los resultados del análisis morfoestructural del Graben de Managua y sus alrededores, el cual se llevó a cabo en base a la interpretación de fotografías aéreas, mapa topográfico, mapa altimétrico, mapa de pendientes y mapa de modelo sombreado. Después se procedió al trabajo de campo en el cual se realizaron mediciones estructurales, mapeo de estructuras geológicas y se identificaron los indicadores cinemáticos de las estructuras, teniendo como resultado que se determinó que las fallas geológicas que se encuentran en el área de Managua poseen una geometría en échelon bien definida con una

componente lateral y que además presentan zonas de relevo de longitudes variable. Este trabajo nos aporta datos significativos sobre la descripción geométrica de las fallas de Managua.

Gómez R. y Pérez J. (2013) realizaron una investigación en la “Simulación de la amenaza sísmica producido por las principales fallas de Managua” con el fin de realizar una compilación de base de datos sobre las principales fallas de Managua y sus alrededores, modelación numérica de las principales fallas de Managua y sus alrededores mediante el programa Matlab, elaborar mapas de la amenaza sísmica por fallamiento y elaboración de mapas de deformación del terreno. Este trabajo presenta una serie de simulaciones numéricas de las aceleraciones picos ocasionadas por sismos hipotéticos de magnitudes por momento sísmico de 5.0 y 6.5 en las fallas Mateare, Alineamiento Nejapa-Miraflores, San Judas, El Estadio, Tiscapa, El Aeropuerto y Cofradía, concluyendo que que la ciudad de Managua y sus alrededores se encuentran bajo una amenaza sísmica alta, ya que albergan una gran cantidad de fallas geológicas que tienen el potencial de causar desastres, con un gran número de pérdidas de vidas humanas y cuantiosos daños materiales.

Álvarez M. y Ortega G. (2014) desarrollaron una investigación monográfica con el nombre de “Caracterización sísmica de sitio en la zona de distrito II de la Ciudad de Managua”, en el cual estudiaron cuatro micro-zonas, demostrando que el suelo es tipo III (suelo moderadamente blando), de acuerdo al reglamento nacional de la construcción (RNC-07). Encontraron velocidades de onda entre 180 m/s a 360 m/s. Relacionaron resultados de este trabajo monográfico con estudios anteriores (Hernández, 2009), de tal manera que los datos son provechosos en el área de estudio y muestra los espectros suavizados únicos y propios de cada micro-zona. Al emplear al menos tres sismos diferentes en un estudio de microzonificación, se contribuye a tener un margen más seguro en los espectros de respuesta, siempre tomando en cuenta el único evento de mayor afectación en nuestro país como base. Esta investigación nos proporciona un rango aproximado de velocidad de propagación de las ondas sísmicas.

Zambrana X., (2019), desarrolló un artículo con el nombre de “Peligro Sísmico de la falla geológica Aeropuerto, Margen este de la ciudad de Managua, Nicaragua” con el fin de estudiar las condiciones y características sísmicas de los suelos en la zona donde se

encuentra ubicado el Aeropuerto Internacional, el cual es trazado perpendicularmente por un sistema de fallas con el mismo nombre (Falla Aeropuerto), esto se hizo con el objetivo de reducir el riesgo sísmico en esa área de la ciudad de Managua. En este trabajo se aplicaron: Método Sísmico de Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW), Método SPAC y Método de Relación Espectral H/V, donde se determinó que en la zona pueden generarse efectos inducidos por sismos como el fenómeno de la licuefacción, y también hundimientos y levantamientos del terreno, debido a la presencia de sedimentos no consolidados y el nivel del agua subterránea muy superficiales en el sitio.

Zambrana X., (2020), realizó un artículo con el nombre de “Peligro Sísmico por efecto de sitio en el Recinto Universitario Rubén Darío de la UNAN-Managua. Nicaragua” con el objetivo de caracterizar el peligro sísmico en la zona de la UNAN-Managua para conocer la caracterización y la respuesta sísmica de los suelos del lugar al presentarse un evento sísmico, ya que el recinto se localiza al oeste de la falla Zogaib. En este estudio se realizaron mediciones de campo a través de la aplicación de la técnica de Nakamura para obtener mediciones de vibración del suelo, a partir de las mediciones de microtemores. Se realizaron mediciones en 164 puntos del área que demuestran la existencia de peligro sísmico por efecto de sitio, partiendo de estos resultados se efectuó una microzonificación sísmica del sitio divididas en 3 microzonas.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La población de la ciudad de Managua en los últimos años, viene presentando un aumento acelerado, creando la necesidad de la edificación de viviendas, edificios, urbanizaciones y carreteras, la mayor preocupación es la carencia sobre información de las características del suelo de Managua ante la amenaza sísmica.

La zona de estudio desde el punto de vista geológico se encuentra ubicada dentro de una depresión tectónica denominada Graben de Managua, sobre una activa cordillera volcánica cuaternaria que atraviesa el territorio nacional de S-E a N-E y representa una estructura comprimida regional, llamada depresión de Nicaragua. Las características estructurales más importantes son las numerosas fallas que la atraviesan en direcciones N-E y N-W. Por lo cual, se requiere el desarrollo de infraestructuras más seguras en templos, centros comerciales, hospitales, universidades y urbanizadoras, por su vulnerabilidad ante el riesgo de amenaza sísmica, que presenta el ambiente en que descansa la capital nicaragüense. Lo que nos genera la siguiente pregunta:

¿Influyen las características del suelo de Managua, en la vulnerabilidad ante la amenaza sísmica?

4. JUSTIFICACIÓN

Geológicamente la ciudad de Managua se ubica dentro un Graben tectónico intensamente fallado, orientado N-S, de tipo extensional y sísmicamente activo, que disloca la cordillera volcánica en sentido derecho por unos 13 km (Weinberg, 1992; Frischbutter, 2002).

Las principales fallas de Managua son las causantes de sismos que más destrucción han provocado en la ciudad, ocurrieron en el pasado siglo (1931 y 1972) que fueron producidos por la activación de fallas sísmicas locales, sin embargo, nunca se tomó en cuenta las condiciones del suelo como una causante de los daños registrados.

El principal problema de la ciudad de Managua es el crecimiento poblacional acelerado y la urbanización no planificada que carece de información sobre el riesgo que implica un evento sísmico. La mayor parte de las construcciones ubicadas en el área central tienen poca resistencia a las fuerzas laterales y no soportan los esfuerzos cortantes generados por el movimiento sísmico, fallando hasta llegar en muchos casos al colapso total. Es por eso que Managua siendo la ciudad capital y con mayor desarrollo al estar ubicadas en ella las principales edificaciones estatales frecuentadas constantemente por la población y al ser edificios de mucha antigüedad presenta una alta peligrosidad ante futuros terremotos.

Por lo antes expuesto consideramos de gran importancia esta investigación, porque aportara información detalladas que serán de mucha utilidad para una evaluación más integral de la amenaza sísmica, a partir de cálculos de Magnitud momento (M_w), estimando un promedio para futuros movimientos sísmicos, con magnitudes considerables en las principales fallas de ciudad de Managua. Seguido de mediciones de microtemores que consiste en cuantificar el efecto de sitio, obteniendo las propiedades físicas de capas superficiales como frecuencia fundamental del suelo y su factor de amplificación, factores de mucha importancia en la planificación de las futuras construcciones de edificios, viviendas y hasta de obras civiles. Contribuyendo a la mitigación del riesgo sísmico y la prevención de desastres por terremotos en la ciudad de Managua.

5. OBJETIVOS

5.1. Objetivo General

- Caracterizar la amenaza sísmica en la ciudad de Managua, Nicaragua.

5.2. Objetivos Específicos

- Calcular magnitud momento de las principales fallas geológicas de Managua, a partir de su desplazamiento.
- Analizar datos de microtemores y cuantificar parámetros dinámicos como frecuencias, periodos, amplificaciones de los suelos, mediante la técnica Nakamura en los diferentes puntos distribuidos en la ciudad de Managua.
- Estimar un modelo de velocidad de la onda de corte (V_s) a partir registros de microtemores en cada una de las zonas estudiadas.

6. LOCALIZACIÓN Y ACCESO

El área de estudio se localiza en la región del Pacífico del país, dentro de la depresión de Nicaragua, siendo un punto referencial en el país porque es la capital donde concentra mayor número de habitantes y se encuentra en continuo crecimiento social como económico.

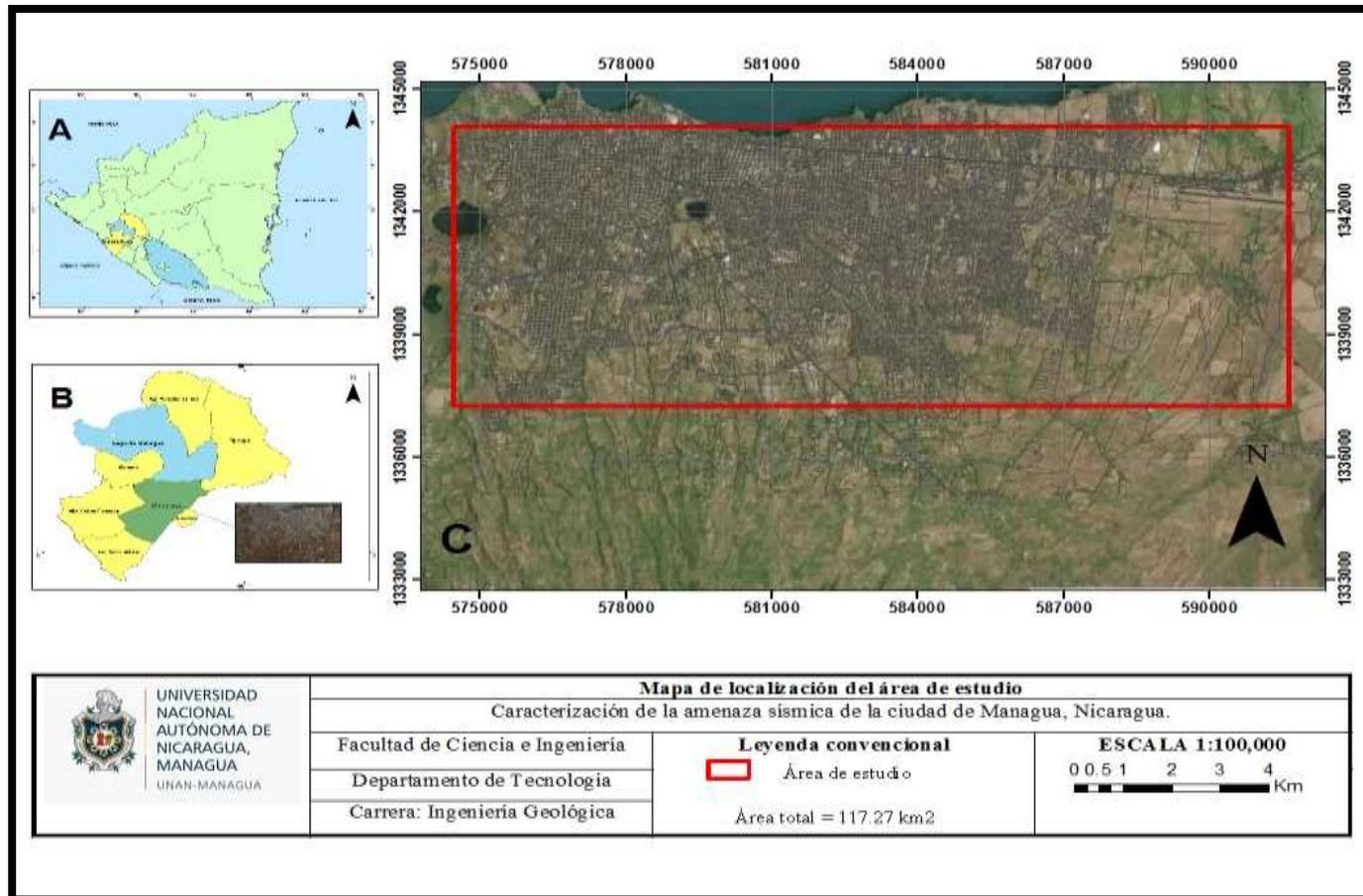
Comprende la hoja topográfica de Managua (2952-III), con escala 1:50.000, según el sistema de coordenadas WGS 1984 UTM zona 16 P, editadas por El Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER, 1998), cubriendo un área de 117.27 Km², dentro de las coordenadas que se especifican en la siguiente (**figura 1**).

Para acceder a Managua es posible por diferentes vías principales.

1. Carretera Panamericana Sur.
2. Carretera León – Managua.
3. Carretera Panamericana Norte.
4. Carretera El Crucero – Managua.

Figura 1. Mapa de localización del área de estudio.

(A) Mapa de la republica de Nicaragua (B) Mapa de la Ciudad del departamento de Managua (C) Mapa de la zona de estudio de la Ciudad de Managua.



Fuente: (INETER 2012; SAS. Planet- 2006).

7. MARCO TEÓRICO

7.1 Geotectónica de Nicaragua

Nicaragua como el resto de Centroamérica se encuentran ubicado en el margen Oeste de la placa Caribe próximo a la placa de Cocos, la cual por ser más densa se sumerge debajo de la placa Caribe, formando la fosa Mesoamericana, una región sísmicamente activa. La dirección de convergencia de estas dos placas es de N 25°-30° con velocidad relativa que varía desde 10.2 ± 0.5 cm/año (Segura 2007).

La placa tectónica del Caribe limita al Norte con la placa norteamericana, en el sistema de fallas Motagua-Polochi-Yucatan y la fosa Caimán. Al Este con la falla de Puerto Rico y la zona de subducción de las Antillas Menores; al Sur por la placa Sudamericana y al Oeste por la placa Cocos (Avellán 2009). El entorno tectónico de Centroamérica y Nicaragua se puede apreciar en la figura 2

Figura 2. Mapa geotectónico de América Central.



Fuente: Frischbutter (2002) y Avellán (2009).

La placa Caribe ha sido dividida en tres Bloques: el Bloque Chortis, Bloque Chorotega y el Bloque Maya. El Bloque Chortis se sitúa al Norte por la zona de falla sinistral Motagua y Polochic, comprende al Sur de Guatemala, Honduras y al Norte de Nicaragua, está compuesto de corteza continental pre-Mesozoica, en la región del Norte de Nicaragua está formado por rocas metamórficas del Paleozoico y está separado del Bloque Maya. El Bloque Chorotega, está constituido por basamento oceánico del Cretácico, con espesores de sedimentos marinos y volcánicos depositados durante el terciario; extendiéndose desde el Sur de Nicaragua hasta el Norte de Panamá (Dengo, 1985).

7.2 Geología Regional de Nicaragua

La actividad geológica de Nicaragua tiene inicio a partir del Paleozoico y finaliza con la actividad volcánica a finales del cenozoico y a principios del Cuaternario.

Hodgson V., (1976) subdividió a Nicaragua en cinco provincias estructurales (ver Fig. No. 5) diferenciadas por su geomorfología, geología tectónica, estratigrafía, geología histórica y geología económica (depósito de minerales metálicos y no metálicos).

Figura 3. Provincias geológicas de Nicaragua



Fuente: Redibujado por Hodgson (1977).

7.2.1. Provincia Geológica de Las Planicies de la Costa del Pacífico

Esta provincia incluye la cuenca Sandino, y se localiza en el margen Pacífico de Nicaragua, en la parte occidental de la placa Caribe en el área del ante arco del Pacífico y se extiende costa a dentro hasta el graben, donde se localiza en arco volcánico activo.

Se divide en seis formaciones sedimentarias y un miembro como: Formación Rivas, Formación Brito, Formación el Fraile y el Tamarindo, ambas del Mioceno, Formación Masachapa del Oligoceno y Formación El Salto del Plioceno, y el miembro Sapoá del Paleoceno. (Zoppis y Guidice, 1958).

7.2.2. Provincia Geológica de La Depresión de Nicaragua

Nuestro tema de investigación toma parte de la Provincia de la Depresión de Nicaragua.

El termino de Depresión es el más apropiado para asignar a la estructura de este macro rasgo morfológico. Esta provincia abarca todos los materiales que fueron depositados en el Graben de Nicaragua y Graben de Managua, comprende con la cadena de volcanes activos y los depósitos Cuaternarios; es una depresión tectónica alargada, paralela a la costa del Pacífico nicaragüense, ubicada en la Placa Caribe (McBirney y Williams, 1965).

Está caracterizada por el predominio de rocas volcánicas, depósitos piroclásticos y sedimentos del Plioceno y reciente. Las rocas, más características están comprendidas en la serie piroclásticas de la Formación Las Sierras y el Grupo Managua.

7.2.3. Provincia Geológica Central de Nicaragua

Las rocas volcánicas de la Región Central se dividen en dos grandes grupos: El Grupo Coyol y El Grupo Matagalpa (McBirney y Williams 1965; Parson Coporation, 1972). El Grupo Matagalpa se caracteriza por la presencia de rocas volcánicas de la edad Eoceno-Oligoceno encontrando principalmente ignimbrita, andesitas, riolitas, depósitos piroclásticos (Ehrenborg, 1996).

7.2.4. Provincia geológica del Norte

Esta provincia está caracterizada por unidades de rocas de edad Paleozoica a Mesozoica, consideradas las más antiguas del país (las cuales han experimentado deformaciones acompañada con metamorfismo regional y constituyen el basamento metamórfico). Las rocas metamórficas de esta provincia como esquistos y filitas son representativas de un metamorfismo regional y de contacto. Están conformadas por la Formación Tologalpa y Formación Metapan.

7.2.5. Provincia de los llanos de la Costa Atlántica

Esta provincia abarca lo largo de la línea costera y los llanos de la Costa Atlántica. Está compuesta principalmente de rocas sedimentarias Cuaternarias y volcánicas de edad Terciarias se ubica a lo largo de la Costa del Caribe de Nicaragua en la denominada Cuenca de la Mosquita.

7.3. Sismicidad del Margen del Pacífico de Nicaragua

Los terremotos en Nicaragua se deben por la ubicación del país en el margen del pacífico de la placa tectónica del Caribe. El movimiento relativo de la placa Coco es convergente con la placa Caribe a una tasa de ocho centímetros aproximadamente por año (DeMets et al. 1994). Se apreciaron los epicentros de los sismos ocurridos en 2010 y 2018.

Figura 4. Sismicidad en la costa del Pacífico de Nicaragua durante el periodo de 2010-2018.



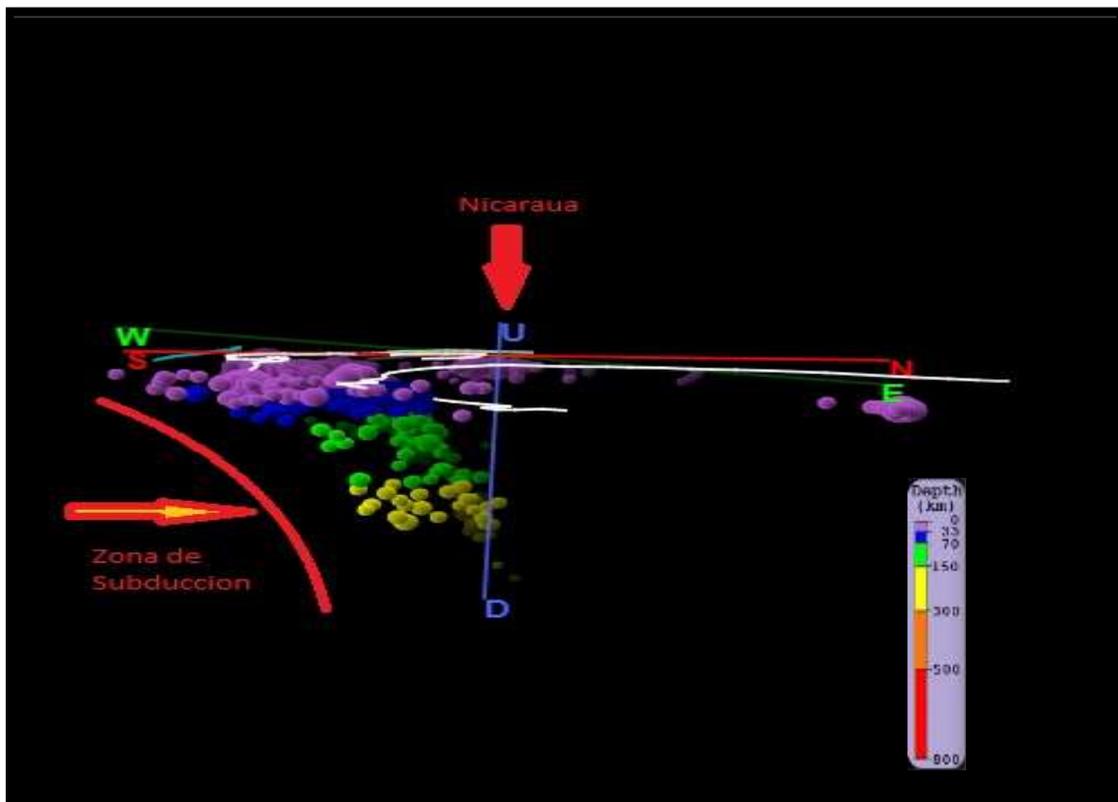
Fuente: Seismic Monitor IRIS; <http://ds.iris.edu/3dv>.

La placa Coco choca con la placa Caribe, y desciende abruptamente en dirección Noroeste bajo el margen Pacífico de la placa Caribe, en el lugar donde se introduce la placa Coco, formando una zona de contacto y de fricción entre las dos placas, la cual genera sismos de magnitudes entre 5 y 7. En esta zona se funden las rocas de la placa oceánica por las altas

temperaturas de manto terrestre, este material fundido haciendo casi verticalmente y penetra la placa Caribe a lo largo de una línea casi recta, formando la cadena volcánica con una orientación Noreste –Sureste con un alineamiento de estrato-cono y escudos volcánicos formando así el arco volcánico nicaragüense; originando eventos volcánicos y sismos superficiales conocidos como intraplacas. De esta manera, el alineamiento superficial que genera sismos de magnitud moderada como ocurrió en los terremotos históricos de 1931 y 1972 originados por fallas activas en el área de Managua (Hradecky et al. 1997).

Los sismos intraplaca ocurren como deformación interna de la placa y los sismos interplaca están asociados directamente al contacto entre dos placas como ocurre entre la placa Coco y la placa Caribe que comúnmente es de magnitud considerable.

Figura 5. Sismicidad en la costa del Pacífico de Nicaragua en un intervalo de tiempo del 2010 al 2018.



Fuente: Seismic Monitor IRIS; <http://ds.iris.edu/3dv>

7.4. Características geológicas de Managua

7.4.1 Litología

Su litología consiste en una secuencia de depósitos piroclásticos de caída, lavas y flujos, los cuales fueron denominados Grupo Las Sierras (Kuang, 1973). Los depósitos más superficiales han sido denominados Grupo Managua y están caracterizados por una secuencia de rocas volcánicas intercaladas por suelo fósiles y/o suelos residuales, cuya litología está constituida principalmente por escorias, pómez, tobas, oleadas y flujos piroclásticos, de edad Holoceno-Pleistoceno, (Hradecky et al 1997). Las principales fuentes de estos materiales son los aparatos volcánicos más cercanos a Managua como: la caldera Masaya, Apoyeque, Apoyo, Nejapa- Miraflores, Motastepe, Tiscapa, Chico Pelón (Viramonte, 1997).

El origen de los suelos está relacionado con el drenaje de la cuenca sur del Lago de Managua, el cual es muy activo durante los meses de lluvia, la erosión hídrica producida en la parte sur de Managua dá origen a suelo aluviales, y flujos hiperconcentrados que dan origen a suelos muy arcillosos similares a los encontrados dentro de la secuencia estratigrafía del Estadio, la erosión eólica y la meteorización química es otro de los factores que dan origen a suelos dentro del Grupo Managua. La estratigrafía más reciente de Managua fue publicada por Kutterolf et al, (2007), que atribuyen los depósitos de Managua producto de los volcanes Masaya, Apoyo y Apoyeque. Estos autores proponen que la estratigrafía de Managua está compuesta por tres Formaciones principales: Formación La Sierra, Formación Managua y Formación Chiltepe.

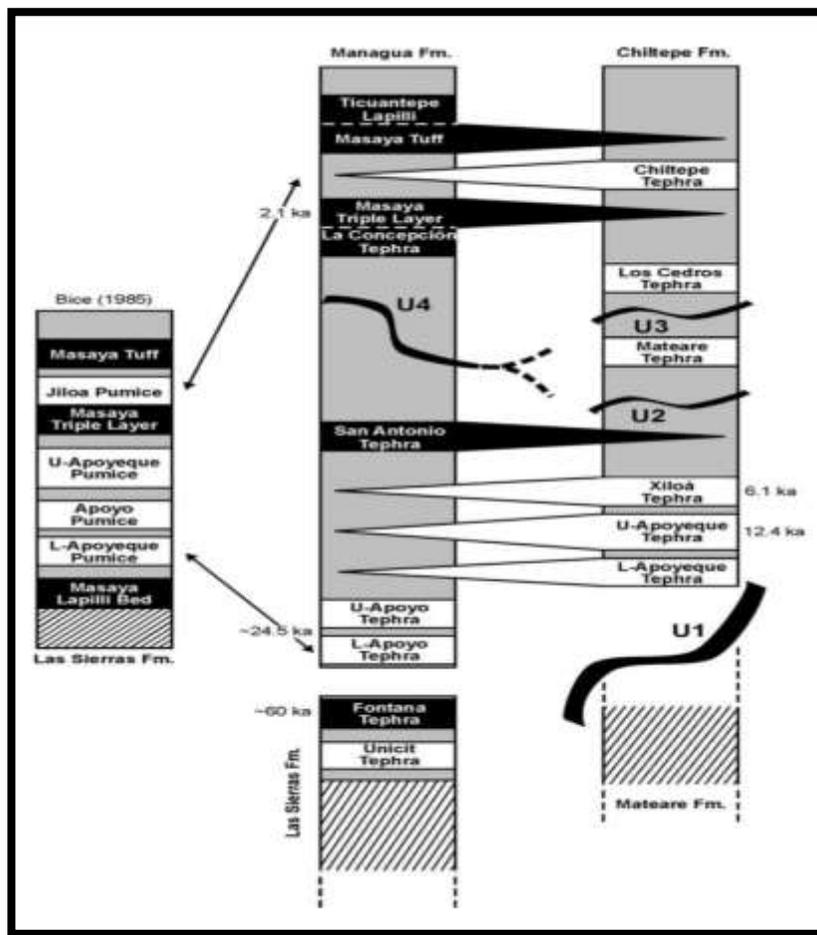
7.4.2 Formación La Sierra

Constituye el basamento llamado Grupo Managua, y está compuesto por rocas piroclásticas relativamente consolidadas de gran espesor y extensión. Es típicamente de color gris oscuro, y a menudo presenta fracturas rellenas de carbonato de calcio. Su edad fue estimada entre 100,000 y 1, 000,000 años, basada en el método de datación K-Ar (Bice, 1980c). Recientemente esta Formación fue dividida por (Kutterolf et al, 2007) en dos unidades principales separadas por un paleosuelo y son:

- **Tefra Unicif:** Consiste en un depósito de pómez de caída masivo de 20 a 65 cm de espesor. Se caracteriza por presentar una gradación inversa en su base y normal en su cima. Esta pómez está cubierta por sedimentos localmente variable como, lahares y depósitos epiclásticos con abundante contenido de lapilli acrecional.

- **Tefra Fontana:** Primeramente, descrita por Bice (1985) como Fontana lapilli. Es una de la secuencia más extensa y fácilmente reconocible del Grupo Managua, con espesores promedio de 3 m y que fueron productos de erupciones plinianas de la Caldera Masaya. Es un depósito de caída compuesto por escoria de color negro con fragmentos bien clasificados y se le ha asignado una edad de 25,000 a 35,000 años (Bice, 1985).

Figura 6. Estratigrafía de los depósitos piroclásticos de Managua



Fuente: Kutterolf, et al., 2007.

7.4.3 Formación Managua

La Formación Managua comprende siete unidades piroclásticas de composición basáltica y riolítica separadas por paleosuelos. Estas unidades fueron formadas por grandes erupciones explosivas de la Laguna de Apoyo y la Caldera de Masaya, ubicadas al sureste y sur de Managua.

7.4.3.1 Pómez de Apoyo: Primeramente, descrita por Bice (1985) como tres unidades de depósito de caída de pómez separada por paleosuelo. Estas unidades las describe como Pómez de Apoyo Inferior con una edad de 20,920 años, Pómez de Apoyo Medio con una edad de 16,000 a 20,000 años y Pómez de Apoyo Superior la cual no presenta datación. Según Bice, estos depósitos de caída de pómez son de composición dacítico y difieren de otra pómez por el color rosa que presentan. El tamaño de las partículas en las capas superiores generalmente varía desde 1 cm en la base hasta 5 cm en el techo. Debido a la similitud en las texturas y gradación, las capas pueden solamente ser diferenciadas por su posición estratigráfica, cuando ambas se encuentran presentes. Estudios recientes (Kutterolf et al, 2007) dividen la Pómez de Apoyo en dos unidades de depósito de caída separadas por un paleosuelo, y las definen como: Pómez de Apoyo Inferior y Superior. Estas unidades se caracterizan por tener cierta gradación inversa y están cubiertas por una secuencia de líticos, ceniza y pequeñas oleadas. De acuerdo a prueba de ^{14}C a la unidad de Apoyo Superior se le estimó una edad de $23,890 \pm 240$ años y Apoyo Inferior una edad de $24,650 \pm 120$ años.

- **Tefra San Antonio:** Es un depósito de caída de escoria de color negro y que está separado por sedimentos tobaceos y un paleosuelo de color amarillo. Los afloramientos proximales demuestran una alternancia de fragmentos grueso de escoria en su base y finos en su cima. Este depósito está cubierto por oleadas que fueron encontradas al noroeste, norte y sur de la Caldera Masaya, donde la reconstrucción de su espesor es limitada por los pocos afloramientos y la erosión que los afectó. A este depósito le fue estimada una edad de 6,100 años (Pérez y Freundt, 2006).

-**Tefra La Concepción:** La Concepción Tefra se expone al sur de la Caldera Masaya. Se trata de un depósito de caída de escoria muy vesiculada de color negro con 2 m de espesor.

Está separada en la parte superior por la unidad de depósitos piroclásticos de la Toba Masaya (Kutterolf, Perez, Whermann, & Schmincke, 2007).

- **Triple Capa Masaya:** La Triple Capa Masaya se encuentra al noroeste de la Caldera Masaya y se define como una unidad poco potente pero distintiva. Está compuesta por pequeñas capas de escoria muy vesiculadas con intercalaciones de ceniza compacta. Para este depósito fue estimada una edad de 2,120+-120 (Pérez y Freundt, 2006) diferente a la edad estimada por (Bice, 1,980c) de 7,000 a 9,000 años.

- **Toba Masaya:** Es un depósito de oleadas que se extiende a más de 35 km de la Caldera Masaya (Pérez y Freundt, 2006). Este depósito tiene un espesor de 50 a 100 cm y está compuesto por lapilli de color oscuro separadas por pequeñas capas de ceniza. A esta secuencia se le dio una edad de 2,000 años, mucho más joven a la edad estimada por Bice (1980a y 1980b) con una edad de 3,000 y 6,000 años.

- **Ticuantepo Lapilli:** Se trata de un depósito de caída de escoria de color negro que cubre a la Masaya Tuff al oeste de la Caldera Masaya (Pérez y Freundt, 2006). Este depósito consiste en cuatro pequeñas capas de lapilli soportado grano a grano y separado por capas de ceniza muy ricas en líticos.

7.4.4 Formación Chiltepe

Se define como una secuencia de depósitos volcanoclásticos que son divididos en seis unidades principales (Kutterolf et al, 2007).

- **Tefra de Apoyeque Inferior:** Se localiza al oeste y noroeste de Chiltepe. Se trata de un depósito de pómez de caída de color blanco de composición dacítica. Este depósito está separado por una delgada capa de sedimentos tobáceos lo que fue erosionado y emplazado por la pómez de Apoyeque Superior.

- **Tefra de Apoyeque Superior:** Se trata de un depósito de pómez de caída de color blanca con gradación inversa. Presenta cierta variación en su espesor de 400 cm cerca de Chiltepe a menos de 50 cm hacia el sur. De acuerdo a análisis isotópico de datación por el método

14C se estimó una edad de $12,400 \pm 100$ años (Kutterolf et al, 2007) mucho más antiguo que las edades publicadas por Bice (Bice, 1980c) de 6,590 años.

- **Tefra de Xiloá:** Se trata de un depósito de pómez de caída con intercalaciones de oleadas muy erosionados. Este depósito se expone hacia este de la laguna de Xiloá. De acuerdo con prueba de 14C se estimó una edad de $6,105 \pm 30$ años (Kutterolf et al, 2007).

- **Tefra Mateare:** Es una unidad recién identificada que está expuesta a lo largo del Lago de Managua. Está compuesta por intercalaciones de pequeñas capas de lapilli y pómez los cuales varían en su composición. Este depósito presenta intercalaciones de ceniza e inclusiones de líticos de composición andesítica (Kutterolf et al., 2007).

- **Tefra Los Cedros:** Es una unidad recién identificada y se trata de un depósito de pómez de caída de composición dacítica de 15 cm de espesor. Este depósito tiene intercalaciones de pequeñas capas de lapilli y se extiende hacia el oeste de Managua (Kutterolf et al, 2007).

- **Tefra Chiltepe:** Se trata de un depósito de pómez de caída de composición dacítica, el cual fue producido por erupciones plinianas del volcán Apoyeque.

7.3 Geología estructural de Managua

La Ciudad de Managua se encuentra ubicada dentro de la Cordillera Volcánica de los Maribios entre los volcanes Apoyeque al NW y la Caldera de Masaya al SE, en la zona de relevo de la Cadena volcánica nicaragüense, que tiene lugar entre el lineamiento del volcán Cosigüina hasta el Volcán Apoyeque, y el lineamiento del volcán Masaya hasta el volcán Concepción. Esta zona de relevo ha sido definida por McBirney y Williams, (1965), como una fosa tectónica o Graben y por Guillaume Girard & Benjamín Van Wyk de Vries (2004), como una cuenca de pull-apart, con orientación N-S, de tipo extensional y 26 tectónicamente activa (Martínez M, 2012). En el área de Managua y en sus alrededores se encuentran numerosos edificios volcánicos pequeños y remanentes de volcanes monogenéticos como Santa Ana, Asosósca, Tiscapa, Ticómo, Motastepe, entre otros.

Esta cuenca tectónica de Managua geológicamente tiene como límite la Falla Cofradía al Este con una orientación N-NE y la Falla Nejapa al Oeste con una orientación NO-SE y el

escarpe de Mateare (Avellán, 2009). Existen estructuras de menor orden dentro de estas estructuras, como el semi-graben de Aeropuerto, limitado por la Falla Cofradía y la Falla Aeropuerto con dirección NE, además de numerosas fallas con dirección N-NE (Frischbutter, 2002). Schmincke 2004 menciona que en las zonas donde los frentes volcánicos se dividen, se generan fallas tensionales y asociados a estas fallas se emplazan pequeños conos volcánicos de escoria (Avellán, 2009).

En Managua se encuentran dos conjuntos de fallas según su orientación, las fallas con dirección N-S, que son de tipo normal, generalmente tienen forma de arco, con dirección paralela a estructuras mayores relacionadas a colapsos volcánicos. Las fallas con dirección NE, SW, presentan desplazamientos laterales izquierdos. Existen fallas con dirección NWSE, pero son poco comunes, estas se pueden localizar en la parte central y al Este de Managua.

Weinberg, 1990, corroborado por Frischbutter, 1998, asocian la actividad de las fallas dentro del Graben de Managua, a un sistema de compresión orientado norte-sur, relacionado con el hundimiento activo de una cuenca “pull-apart”.

7.6 Graben de Managua

El Graben de Managua de orientación Norte-Sur, probablemente se relaciona con un desplazamiento dextral de la cadena volcánica, asociada con una estructura más joven de orientación Norte-Sur. Mientras que, al Este, limita otra estructura también de dirección N-S, el Sistema de Falla Cofradía. Hacia el Norte el Graben se pierde en el lago de Managua, hacia el Sur se encuentra la caldera del complejo volcánico Masaya.

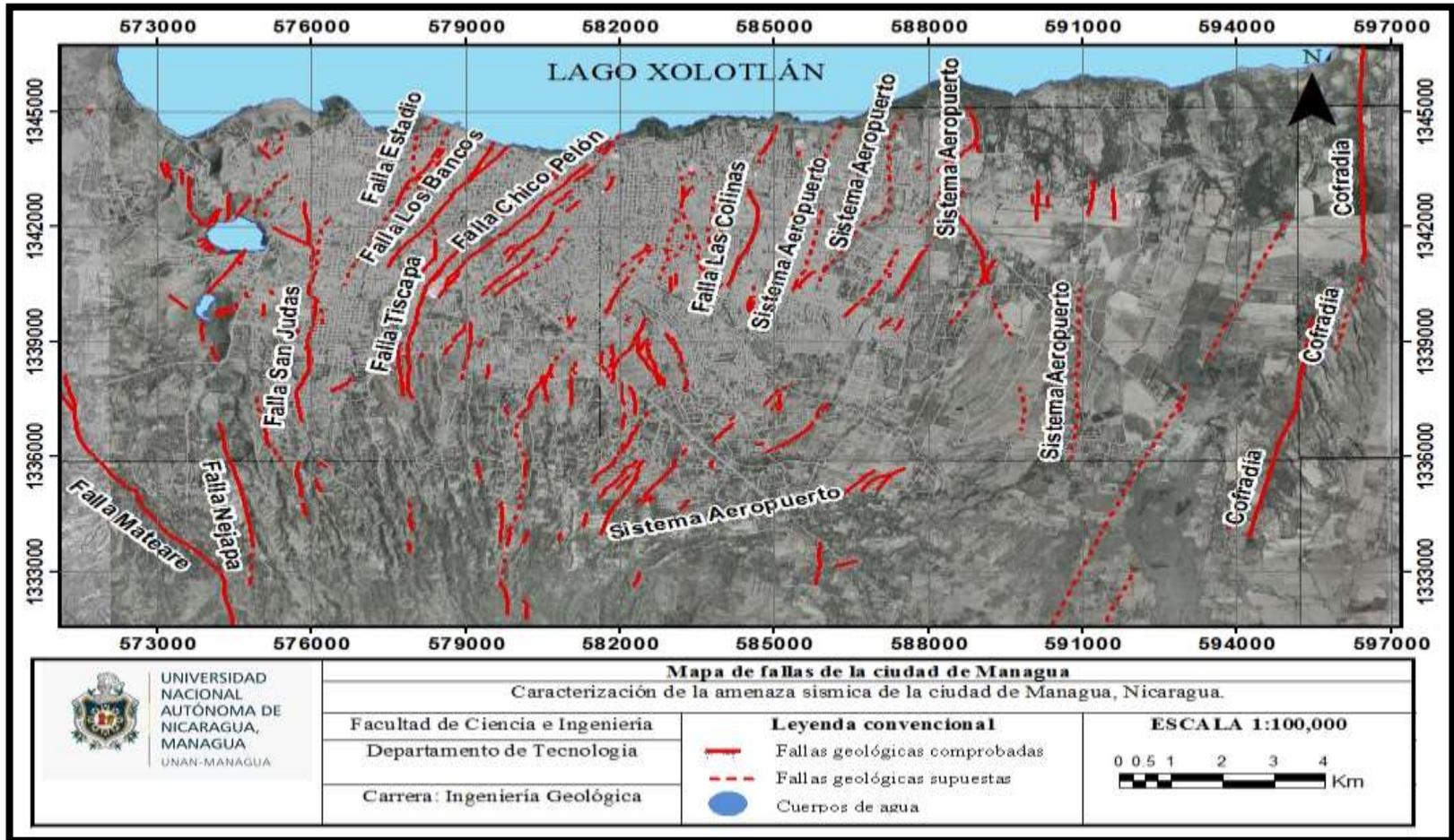
Tratándose de una estructura reciente, de tipo trans-tensional activa que muestra un intenso fracturamiento interno. Se han reconocido tres diferentes familias de falla cuyo origen y actividad se asocian al campo tensional geotectónico. Con la presencia de falla transcurrente de orientación Noreste-Suroeste con desplazamiento lateral-izquierdo, como los desplazamientos de la Falla Tiscapa y fallas asociadas. Estas fallas fueron activas durante los años 1931 y 1972 ocasionando terremotos destructivos.

La segunda familia de falla trancurrentes, es de rumbo Norte-Noroeste, S-SE, WoodwardClyde Consultants (1975). Mostrando un desplazamiento lateral-derecho constituyendo un sistema conjugado con la primera familia de fallas. Este tipo de falla se repite entre otras, a lo largo del Alineamiento Volcánico de Nejapa-Miraflores.

El tercer rasgo estructural, con las fallas normales de orientación Norte-Sur debido a su naturaleza tensional, promueven el ascenso de magma. Esto está corroborado por el alineamiento de estructuras volcánicas de Nejapa-Miraflores y Veracruz.

En cambio, en el centro de Managua, las características estructurales más importantes son las numerosas fallas que atraviesan en direcciones Noreste y Noroeste, entre las principales fallas al Este de Managua, se localiza la Falla San Judas, la Falla Colinas, otra con relevancia es la Falla Estadio siendo responsable del terremoto de 1931. En la figura 10 se muestra las principales fallas que atraviesan la ciudad de Managua.

Figura 7. Fallas de Managua.



Fuente: Base Cartográfica Digital, INETER-2012; Orto foto mapas, 2004.

7.5. Sismicidad en Managua

Segura (2000), afirma que la ciudad de Managua cuenta con una elevada densidad de fallas geológicas activas responsables de sismos de diferentes magnitudes a lo largo de los años, por efectos sísmicos asociado al fallamiento local, cabe destacar que en algunas ocasiones ha llegado a afectar de manera parcial la ciudad, mientras que otros tienen efecto en todo el territorio de la ciudad, causando grandes pérdidas de vidas humanas y enormes daños materiales, afectado de manera directa el desarrollo socio-económico del país.

Managua fue escenario del terremoto que tuvo lugar en marzo de 1931. Fue provocado por la activación de falla Estadio, siendo responsable de la pérdida de más 1,100 personas además la afectación de la infraestructura de alta importancia política y social. Se consideró que tuvo una magnitud de 6.0 en la escala de Richter. El epicentro se localizó en el centro de la ciudad, causando graves daños (Leeds; 1973).

Figura 8. Palacio Nacional después del terremoto 1931.



Fuente: <https://www.el19digital.com/articulos/ver/titulo:54377-managua-entre-los-escombros-de-la-memoria-fotos-y-video>.

En el año 1968 la capital fue sacudida por la activación de la falla de La Centroamérica, con una magnitud de 4.8 en la escala de Richter, el epicentro se cree que se localizó a unos 6 km al Sur de la Colonia Centroamérica y el foco con una profundidad de 10 km.

Otro evento importante ocurrió el 23 de diciembre de 1972, la ciudad de Managua fue devastada por el terremoto más catastrófico en la historia. Con una magnitud estimada en 6.2 en la escala Richter, aunque fue variable en diferentes lugares de la ciudad, causo daños en 27 km², de los cuales 13 km² en su totalidad fueron destruidos en el centro de Managua, dejando aproximadamente 10,000 personas fallecidas, ocasionado por la activación de la falla Chico Pelón, Los Banco, Zogais y Tiscapa siendo esta ultima la principal causante del evento sísmico (Sozen, Matthiesen, 1975).

Figura 9. Ruinas del edificio Foto Lux. Barrio San Antonio, calle 15 de septiembre, Managua 1972.



Fuente: <https://www.elnuevodiario.com.ni/nacionales/450373-anoranzas-ciudad-sepultada/?view=amp>.

En la siguiente tabla se describen las principales fallas de Managua con cada uno de sus parámetros.

Tabla 1: Descripción de las principales fallas de Managua, Nicaragua

Zona de fallas	Rumbo y longitud proyectada	Desplazamiento			Edad del último movimiento	Comentarios
		Máximo Individual	Altura del Escape	Tipo de falla y sentido de movimiento		
Mateares	N50°W, 35 a 70 Km	-	~200m	Falla Normal oblicua, con componente lateral derecha, Norte hundido hacia el NE.	-	Probablemente <20 Kry El escape de mateares está conformado por depósitos de ignibritas del pleistoceno. No reporta actividad sísmica desde el 1975.
Nejapa	N-S, 24 Km	1m	~80m	Falla Normal con componente lateral derecha.	-	Probablemente <10 Kry Estructura monogénicas y un volcán compuesto se emplazan sobre esta falla, y definen el margen oeste del graben de Managua.
San Judas	N-S±5°, 10 Km	1m	15m	Falla Normal bloque hundido hacia el E, se desconoce si tiene sentido de movimiento lateral.	-	Probablemente <5 Kry Esta falla presenta un pequeño escape y desplaza suelos del Holoceno. Fracturas menores se originaron en el terremoto del 1972.
Estadio	N30E, ±5°, 2 Km y se extiende a 10 Km en el Lago de Managua.	0.5m	~1m	Lateral izquierda.	-3	31 de marzo de 1931 Superficie de ruptura a lo largo de 2 km terremoto de 1931. Fracturas menores se originaron el terremoto 1972.
Tiscapa	N24°E, ±7°, 10 Km y se extiende a 20 Km en el Lago de Managua.	3.5m	20m	Lateral izquierda.	Probablemente 0-5	23 de diciembre de 1972 Pequeño escape geomorfológico hacia el centro de la antigua ciudad de Managua. El desplazamiento lateral izquierdo se observa en la pared norte de la laguna de Tiscapa.
Aeropuerto	N3°E, ± 6°, 15 Km	0.5-1m	10-12m	Falla Normal oblicua, con componente lateral derecha, bloque hundido hacia el E.	Probablemente 0-5	A.D. 1650-1810 Falla subvertical con un escape cuya altura máxima es de 10 a 12 metros.
Cofradía	N4°E± 13°, ~40 Km	0.5-1m	~15m	Falla Normal oblicua, con componente lateral izquierda. Bloque hundido hacia el W.	Probablemente 0-5	<5 Kry Prominente escape que se extiende hacia el sur en la caldera Masaya y es asociada con numerosos manantiales de aguas termales.

Fuentes: Brown et al. (1973); Woodward-Clyde (1975); Bice (1980); Hernández et al. (1994); Sultan (1931); Dames and Moore Lamsa (1978); Cowan et al. (2000); Espinoza (2007). Traducido por: Zambrana X (2012).

7.8 Ondas Sísmicas

Las Ondas Sísmicas son la propagación de perturbaciones temporales que generan pequeños movimientos en un medio, provocados por la rápida liberación de energía, esta se dispersa en forma de ondas que viajan desde el punto de origen del sismo llamado foco o hipocentro. La mayoría de los sismos son de origen tectónico y son causados por deslizamientos rápidos de bloques rocosos a lo largo de fallas, estas son poderosas fuentes de energía que a menudo provocan devastaciones en la superficie, parte de la enorme energía que se libera produce violentos desplazamientos del suelo (Sauter, 1989).

7.8.1. Tipos de ondas sísmicas

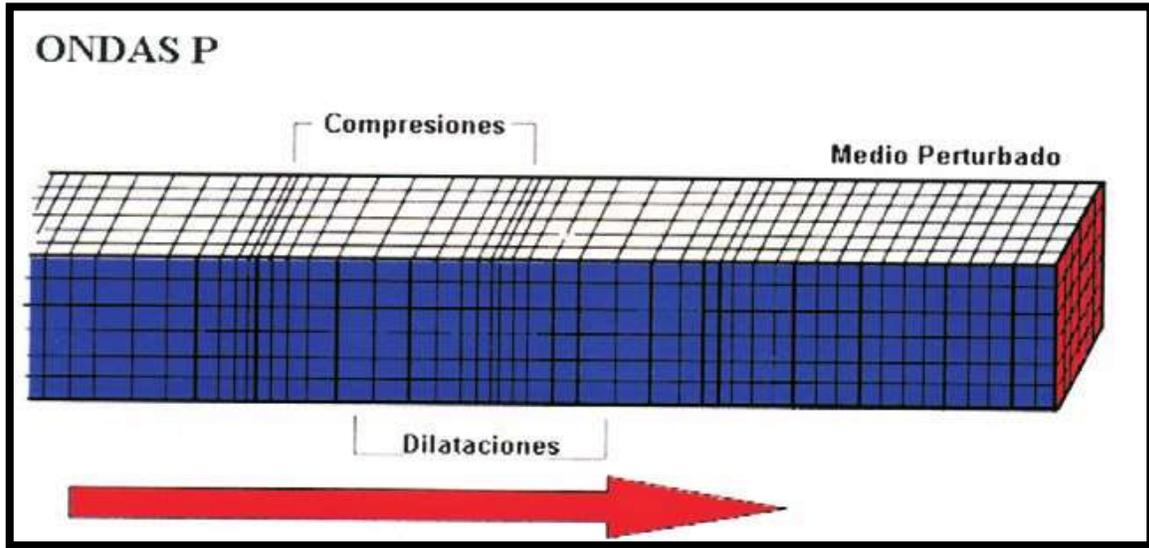
En los sismos se propagan dos tipos de Ondas Sísmicas y todas ellas se mueven de manera diferente: a). Ondas de Cuerpo o Internas, que viajan a través del interior de la tierra proporcionando información sobre las características físicas de la misma y b). Ondas Superficiales que se propagan en las capas más externas de la superficie terrestre y son las que causan mayor destrucción en la infraestructura.

Las Ondas de Cuerpo pueden viajar a través de las capas internas de la Tierra, viajan grandes distancias por medio de las rocas y su amplitud se atenúa poco a poco conforme aumenta la distancia respecto al foco, siguen caminos curvos debido a la variada densidad y composición de la Tierra. Dentro de las Ondas Internas u Ondas de Cuerpo se distinguen dos clases, atendiendo al modo de desplazarse: Ondas P y Ondas S (Beles, Ifrim, & García, 1975).

Ondas P:

Las Ondas P (Primarias), son ondas longitudinales, lo cual significa que el suelo es alternadamente comprimido y dilatado en la dirección de la propagación de la onda y son las primeras en aparecer en el registro sísmico por ser las más rápidas. Estas ondas se caracterizan por viajar a través de cualquier medio (sólido, líquido o gaseoso). La velocidad media aparente de propagación de las Ondas P oscila entre 8 y 13 km/seg (Sauter, 1989).

Figura 10. Modelo de propagación de la onda P.

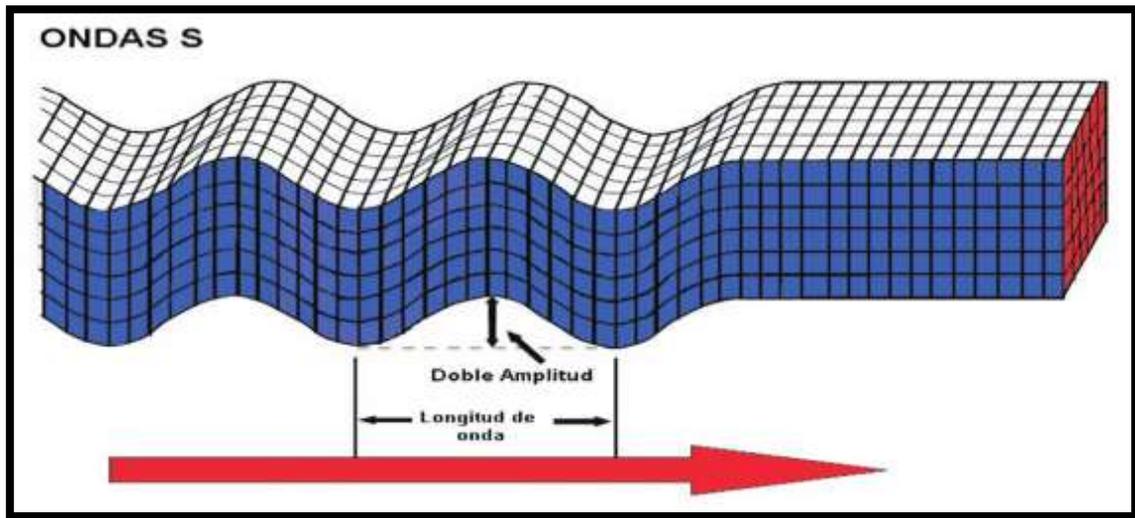


[https://cienciaexplicada.com/ondas sismicas-i -.html](https://cienciaexplicada.com/ondas-sismicas-i-.html)

Ondas S:

Ondas Sísmicas Transversales o de Corte, que producen una vibración de las partículas con una dirección perpendicular a la dirección de avance de la onda. Se designa con la inicial S (Ondas Secundarias), puesto que son registradas después de las Ondas P en el sismograma, ya que su velocidad es menor. Las Ondas S pueden viajar únicamente a través de sólidos debido a que los líquidos no pueden soportar esfuerzos de corte. Su velocidad es alrededor del 58% que el de una Onda P para cualquier material sólido. Usualmente la Onda S tiene mayor amplitud que la P y se siente más fuerte que esta. La velocidad media aparente de propagación de las ondas oscila entre 4.5 y 8.5 km/seg (Sauter, 1989).

Figura 11. Modelo de la propagación de la onda S.



<https://cienciaexplicada.com/ondas-sismicas-i.html>

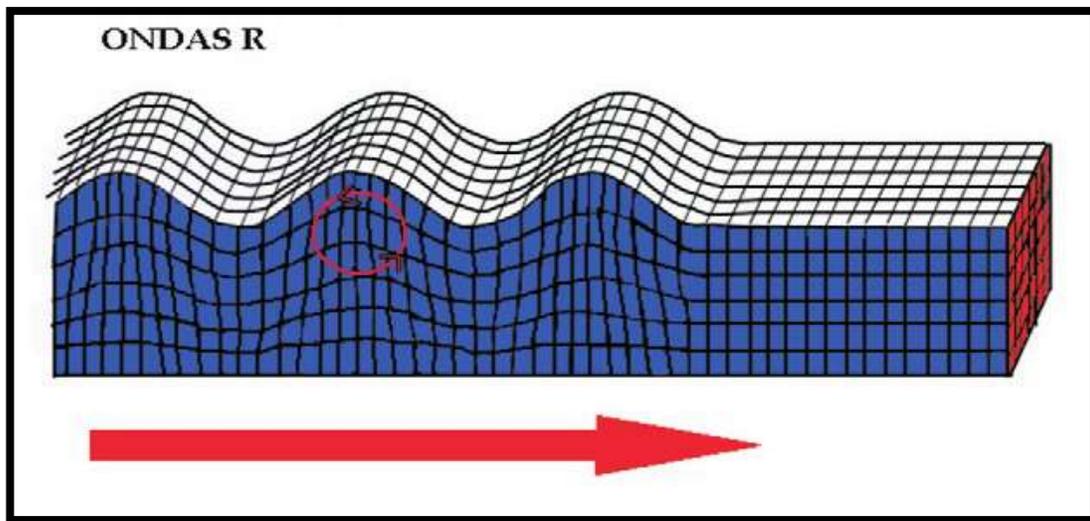
7.8.2 Ondas Superficiales:

Son las que propagan su energía en las capas más externas de la corteza terrestre. Cualquiera que sea su intensidad, las sacudidas pueden ser bruscas u ondulatorias. Las Ondas Superficiales se desplazan a menor velocidad que las Ondas de Cuerpo, debido a su baja frecuencia provocan resonancia en las edificaciones con mucha facilidad. Dentro de las Ondas Superficiales hay dos tipos de ondas: Ondas Raleigh y Ondas Love (Sauter, 1989).

Ondas Raleigh:

Este tipo de onda viaja de forma ondulada, similar a la manera que viajan las ondas en la superficie del agua como lo son las olas del mar, las partículas se mueven describiendo elipses sobre un plano vertical en la dirección del movimiento de la onda y retrogrado con respecto a la dirección de propagación. Estas ondas tienen su máxima amplitud en la superficie libre, la cual decrece exponencialmente con la profundidad, y son conocidas como Ondas Raleigh en honor al científico que predijo su existencia (Sauter, 1989).

Figura 12. Modelo de propagación de la onda R

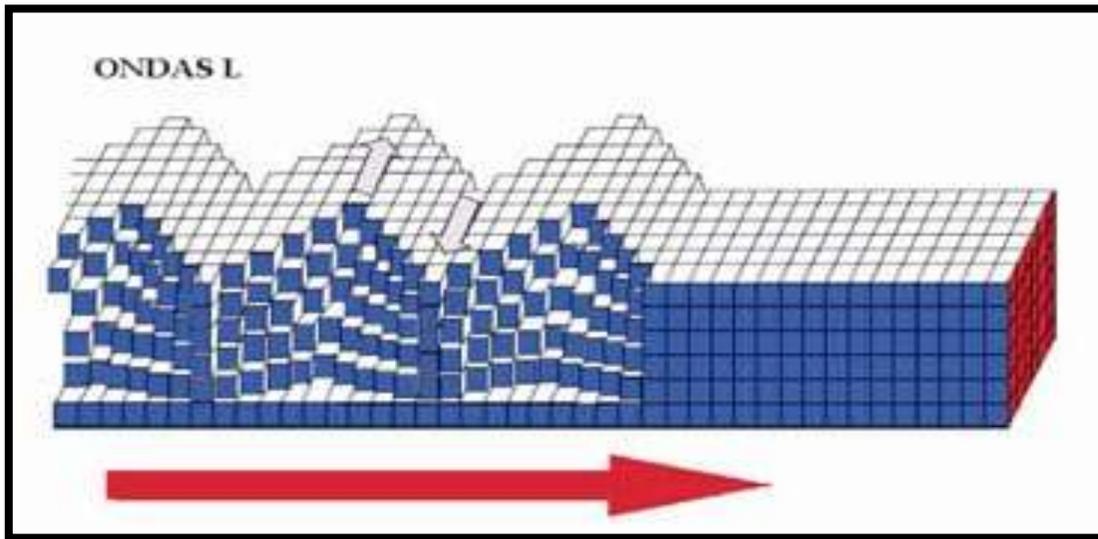


Fuente: <https://cienciaexplicada.com/ondas-sismicas-i.html>

Ondas Love:

Otro tipo de Ondas Superficiales son Ondas de Love llamadas así en honor del científico que las estudió. Estas se generan sólo cuando un medio elástico se encuentra estratificado, es decir formado por capas de diferentes características físicas y químicas. Las Ondas de Love se propagan con un movimiento de las partículas, perpendicular a la dirección de propagación, como las Ondas S, sólo que, polarizadas en el plano de la superficie de la Tierra, es decir, sólo poseen las componentes horizontales a superficie. Las Ondas de Love pueden considerarse como Ondas S "atrapadas" en la superficie. Como las Ondas Raleigh, la amplitud de estas decrece rápidamente con la profundidad (Sauter, 1989).

Figura 13. Modelo de la propagación de la onda L



Fuente: <https://cienciaexplicada.com/ondas-sismicas-i.html>

7.9 Amenaza Sísmica

En el lenguaje común entendemos como "Amenaza Sísmica" los peligros en general que presentan los terremotos de una u otra forma para la población.

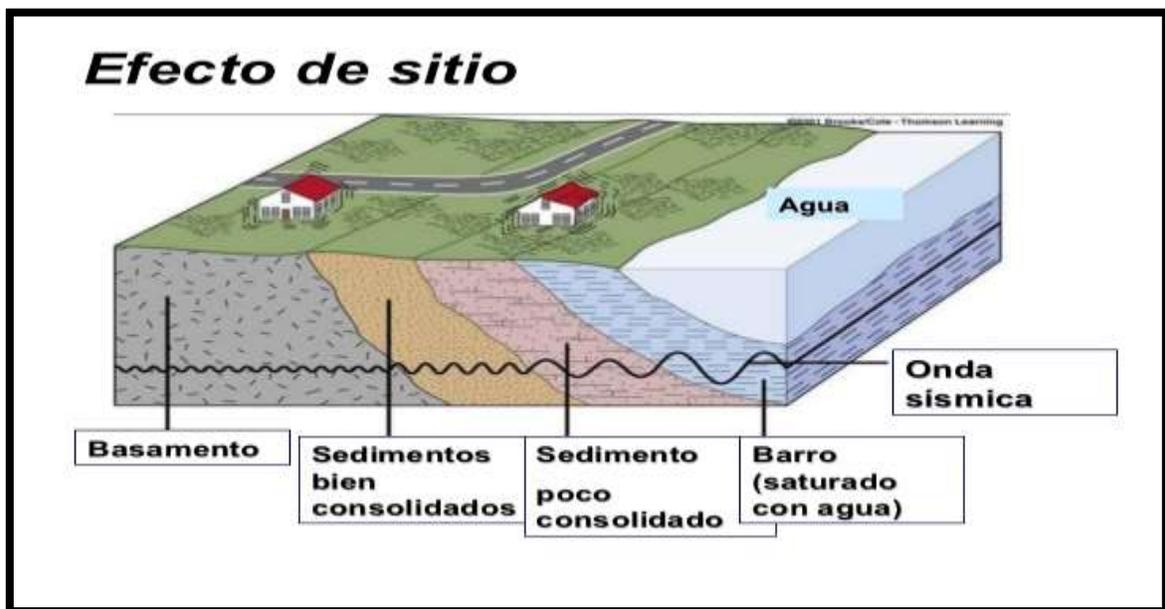
En sismología "amenaza sísmica" es un término técnico que caracteriza numéricamente la probabilidad estadística de la ocurrencia (o excedencia) de cierta intensidad sísmica (o aceleración del suelo) en un determinado sitio, durante un período de tiempo (normalmente un año). En esta definición la amenaza sísmica no depende de la existencia de poblaciones humanas. El conocimiento de esta probabilidad es importante para constructores, ingenieros y planificadores (INETER)

7.9.1 Efecto de Sitio

El movimiento del terreno debido a un sismo en un punto dado depende naturalmente de los parámetros asociados a la fuente sísmica y de la atenuación de la energía sísmica conforme se propaga desde la fuente al sitio de interés. Estos son los parámetros que se utilizan para predecir el movimiento sísmico en un punto utilizando las ecuaciones de predicción de movimiento del terreno (anteriormente conocidas como leyes de atenuación),

y que en estudios de riesgo sísmico se conoce como movimiento de referencia, o movimiento estimado para un sitio en roca dura. Si el sitio de interés no se encuentra sobre roca dura, ese movimiento de referencia se verá afectado por la amplificación generada por las irregularidades geológicas, la presencia de capas de suelo, y la geometría irregular de las interfaces entre medios con distintas propiedades. Es esa amplificación del movimiento sísmico lo que conocemos como efectos de sitio, los cuales modifican la predicción del movimiento del terreno para un sismo dado con respecto al movimiento en roca dura a la misma distancia a la fuente.

Figura 14. El comportamiento de las ondas sísmicas en el sedimento y la roca sólida



Fuente: <https://es.slideshare.net/mobile/comunicacionespfc/riesgo-ssmico-7361114>.

7.9.2 Microtremores

Los microtremores son pequeñas vibraciones producidas en la superficie terrestre en el orden de micrómetros. Su origen es muy variado, desde fenómenos naturales hasta los antrópicos. La frecuencia que estos contengan, dependerá de su origen, es decir el rango de frecuencia de oscilación (Tabla 1). Los que tienen como origen la actividad humana (antrópicos) son denominados por periodos cortos, menores a un segundo mayores a 1 Hz en el dominio de frecuencias. El otro tipo de tienen origen por fenómenos naturales como el

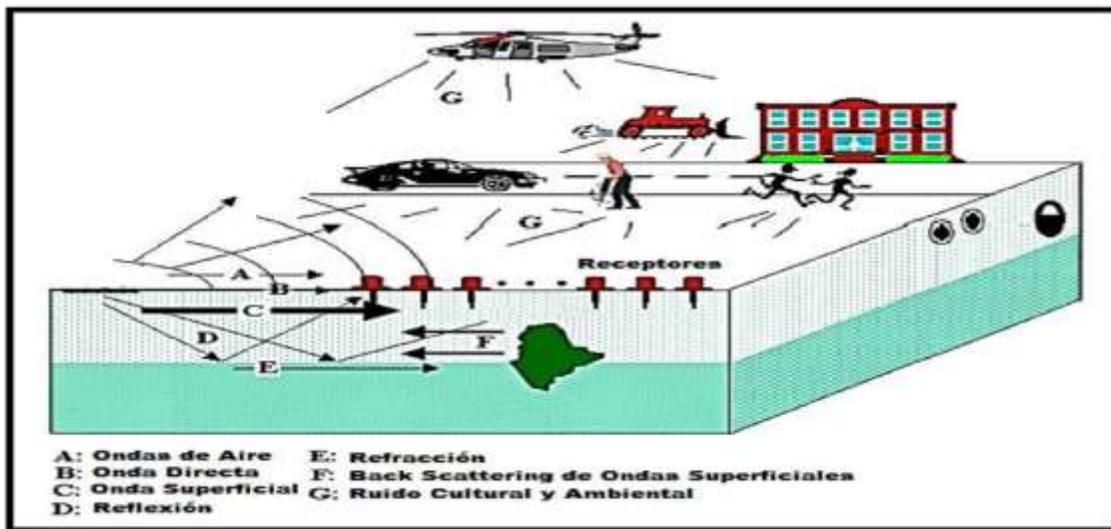
clima (vientos, variaciones atmosféricas), actividad volcánica, comprende un periodo dominante mayor a 1segundoo menores a 1 Hz (baja frecuencia).

Tabla 2: Fuente generadora de microtemores y su rango de frecuencia.

Fuente	Periodo	Rango de frecuencia
Son causadas por las ondas oceánicas que ocurren en grandes distancias	Largos	Por debajo de 0.3 y 0.5 Hz
Son generadas por las olas del mar cercanas a las costas	Intermedios	Entre 0.3-0.5 Hz y 1 Hz
Estas fuentes se relacionan con las actividades humanas	Cortos	Frecuencias mayores a 1 Hz

Fuente: Bard, 1998; Flores, 200

Figura 15. Principales fuentes que generan los microtemores, fuentes naturales y fuentes artificiales



Fuente: <https://images.app.goo.gl/qnaQzaoGbX338azd6>

7.9.3 Técnica de Nakamura

El método HVSR (también conocida como H/V porque relaciona la componente horizontal y la componente vertical o método de Nakamura) utiliza un sismómetro triaxial de banda ancha para grabar el ruido sísmico ambiental. Es considerada una técnica “pasiva” porque no requiere una fuente sísmica artificial, como explosivos o golpes de martillo. La relación HVSR mide las componentes vertical y horizontal del ruido sísmico inducido por el viento, oleaje, y actividades antropogénicas.

El análisis de las mediciones de este tipo permite identificar los modos de vibración del suelo además de identificar la frecuencia fundamental (f_0) de esta vibración. Sabiendo que en general hay una relación simple entre f_0 , el espesor de la parte más suave de la tierra (es decir, la porción del material que recubre la roca) y la velocidad media (V_s) de las ondas sísmicas en el subsuelo (obtenido por ejemplo a partir de los métodos de ondas superficiales), a través de las medidas HVSR se puede estimar al espesor de esta capa.

Este método ha sido ampliamente difundido en los últimos años y utilizado por la fiabilidad de sus resultados, acompañado de rapidez y economía en su ejecución. Nakamura supone que la razón (H/V) o razón espectral corresponde a la función de transferencia de los niveles superficiales sometidos a movimientos horizontales. Basa su trabajo en la hipótesis de que un microtemblor está compuesto por un cuerpo principal de ondas y por ondas superficiales Rayleigh, inducidas por fuentes artificiales (trenes, tráfico, etc). Se considera que las componentes horizontal y vertical del registro son similares en la base rocosa. Dichos registros son amplificados por las capas de suelo blando que yacen sobre el sustrato rocoso. Se considera además que las componentes horizontales se amplifican debido a multi reflexiones de la onda S, en tanto que los microterremotos verticales lo hacen por multi reflexiones de la onda P. La velocidad de propagación de la onda P es generalmente mayor que 100 m/s, y los movimientos con frecuencias de aproximadamente 10 Hz o menos pueden no amplificarse, debido a la multi reflexión en las capas superficiales de varias decenas de metros de espesor.

Según Nakamura (1989), el método del cociente espectral permitiría obtener la función de transferencia completa del suelo (periodo y amplificación). Sin embargo, algunas investigaciones teóricas y trabajos experimentales (Lachedt y Bard, 1994) han demostrado

que no es así, sino que el método únicamente permite la determinación del periodo predominante.

7.9.4. Parámetros dinámicos de los suelos

Amplificación

Sobre suelos blandos se registran amplitudes sísmicas más altas que sobre estratos rocoso, debido que en las capas superficiales las ondas sísmicas sufren cambios muy significativos, esto porque que el subsuelo se presenta como un depósito de estratos con diferentes propiedades mecánicas y dinámicas cuya base es la formación rocosa.

Período

Uno de los indicadores de mayor interés en la ingeniería sísmica es el periodo de vibración fundamental del suelo (T_0) que ha sido mundialmente utilizado para estimar los efectos locales de los suelos al ser sometidos a cargas dinámicas. 31 en numerosas ocasiones se ha demostrado que el periodo fundamental de los suelos está relacionado a los daños en las edificaciones, debido al llamado fenómeno de resonancia por lo que la estructura se ve sometida a mayores esfuerzos y desplazamientos los cuales pueden conducirla al colapso de existir efecto de sitio (Bermúdez y Franco, 2002)

Fenómeno de resonancia

Es un fenómeno que se produce cuando un cuerpo capaz de vibrar es sometido a la acción de una fuerza cuyo periodo de vibración se acerca al periodo de vibración característico de dicho cuerpo en el cual, una fuerza relativamente pequeña aplicada en forma repetida hace que una amplitud de un sistema oscilante se haga muy grande. En estas circunstancias el cuerpo vibra aumentando de forma progresiva la amplitud del movimiento tras cada una de las actuaciones sucesivas de la fuerza.

En teoría si se consiguiera que una pequeña fuerza sobre un sistema oscilara a la misma frecuencia que la frecuencia natural del sistema se produciría una oscilación resultante con una amplitud indeterminada. Esta depende de la magnitud de la fuerza impulsora, de la relación entre la frecuencia impulsora y la frecuencia del resonador. Cuanto mayor sea la

diferencia entre esta menor será la amplitud de oscilación del sistema resonador y mayor cantidad de energía será requerida para generar una determinada amplitud en la oscilación forzada.

Frecuencia

Es la frecuencia de la onda registrada, es decir, el número de ciclos por segundos, es más útil medirla por la cantidad de milisegundo que hay entre dos valles o cresta de una onda (Cantos, 1973).

7.9.5 Modelo de velocidad de Onda de Corte.

Un aspecto importante del monitoreo microsísmico es la creación de modelos de velocidad precisos para la región monitoreada. La roca sedimentaria se forma con el tiempo a través de la deposición. Las capas de roca se crean a partir de diferentes materiales o en diferentes condiciones y, naturalmente, cada capa de roca tendrá diferentes propiedades. Un modelo de velocidad mapea las capas de roca en una región de monitoreo y la velocidad esperada que las ondas sísmicas (ondas P, ondas S, incluyendo efectos anisotrópicos) recorrerán en cada capa.

Cuando se considera la ubicación de eventos, la construcción y validación adecuada de los modelos de velocidad es críticamente importante. Información como el tiempo de llegada de las ondas P y S (distancia) y el análisis de hologramas (dirección) se utiliza juntamente con el modelo de velocidad para localizar con precisión los eventos. Las desviaciones de los modelos de velocidad real y asumida resultarán en errores sistemáticos de localización de eventos.

Velocidad de la Onda de Corte (V/s).

Según el Reglamento de la Construcción de Nicaragua (RNC-07) se toma en cuenta los efectos de amplificación sísmica debido a las características del terreno, que se dividen en cuatro tipos según su nivel de seguridad (MTI, 2007). Los sitios se clasifican en función de la onda de corte promedio V_s .

Tabla 3: Clasificación del suelo de acuerdo al Reglamento Nacional de la Construcción (RNC-07)

CLASIFICACIÓN DE SITIO		V_s (m/s)
Tipo I	Afloramiento rocoso	$V_s > 750$
Tipo II	Suelo firme	$360 < V_s \leq 750$
Tipo III	Suelo moderadamente blando	$180 < V_s \leq 750$
Tipo IV	Suelo muy blando	$V_s > 180$

Siendo V_s la velocidad promedio de la Onda de Corta calculada a una profundidad no menor de 10m que se determina como:

7.9.6 Magnitud Momento, (M_w)

Esta magnitud se determina a partir del momento sísmico, que es una cantidad proporcional al área de ruptura (i.e., al tamaño de la falla geológica que rompió) y al deslizamiento que ocurra en la falla. Su estimación es compleja y puede llevarse a cabo empleando diversos métodos y tipos de datos. En general, su cálculo requiere, por lo menos, de los primeros 15 minutos después de ocurrido el evento sísmico en el caso de que se empleen datos locales (i.e., a escala nacional), pero puede requerir hasta 30 minutos si se emplean datos de estaciones lejanas (i.e., a escala mundial). Esta magnitud es la más robusta; a diferencia de M_L , m_B y M_S , la escala M_w no se satura, por lo que hoy en día es la más confiable y la más usada por las agencias dedicadas a la detección de sismos. También es la magnitud más usada por científicos para comparar los tamaños entre sismos. REFS: Kanamori (1977); Hanks y Kanamori (1979). Expresada con las siguientes ecuaciones:

Ecuación 1: $\log_{10} M_o \cong 1.5M_w + 9.1$

M_w : Magnitud

Ecuación 2: $\log_{10} E_s \cong \log_{10} M_o - 4.$

M_o : Momento Sísmico [NM]

Ecuación 3: $\log_{10} L \cong 0.5 M_w + 1.1$

E_s : Energía total del Sismo [NM]

Ecuación 4: $L \cong 2W$

L, W : Longitud y desplazamiento de la Falla [M]

Ecuación 5: $L \cong 2 \times 10^4 U$

U : Desplazamiento [M]

La magnitud momento fue definida por Hanks y Kanamori (1979) a través de la expresión:

Ecuación 6: $M_w = 2/3 \log M_o - 16.0$ (7)

Ecuación 7: $\log_{10} M_o = 0.5M_w + 1.1$

En donde M_o es el llamado momento sísmico, expresado en dyn·cm. Éste a su vez se define a través de la expresión:

Ecuación 8: $M_o = \mu \cdot D \cdot A$

En donde μ es el llamado módulo de rigidez o de cizalla, A es la superficie de ruptura y del desplazamiento medio en la superficie de ruptura. Esta fórmula nos indica que lo que condiciona el momento sísmico, y por ende la magnitud del terremoto, no es sólo la superficie de la ruptura, sino el producto de la superficie y el desplazamiento. μ es un parámetro elástico que relaciona los esfuerzos y las deformaciones cortantes o de cizalla. Para la corteza terrestre se acostumbra a tomar un valor medio de $3.2 \cdot 10^{11}$ dyn/cm², mientras que para el manto toma un valor medio del orden de $7.5 \cdot 10^{11}$ dyn/cm². Los valores de A y D aunque en contados casos pueden obtener a partir de estimaciones/observaciones geológicas (desplazamiento observado en la superficie de ruptura, área de ruptura a partir del área de las réplicas, etc.), lo normal es que se obtienen, y que el valor de M_o se obtenga directamente mediante análisis espectral en el caso de

terremotos locales, o mediante modelización de las ondas sísmicas de largo período observadas en los sismogramas (polaridades y amplitudes de las ondas P y S, y formas de onda).

8. HIPOTESIS

Al caracterizar la amenaza sísmica de Managua, podremos comprobar el comportamiento de los suelos con relación a los eventos sísmicos e identificar zonas de mayor vulnerabilidad, para la prevención y mitigación de desastres por riesgo sísmico.

9. DISEÑO METODOLÓGICO

9.1. Tipo de Estudio

Según el nivel de medición y análisis de la información:

9.1.1 Descriptivo

El estudio es descriptivo pues hace un registro detallado de las características y comportamientos de cada variable en estudio.

9.1.2 Cuantitativo

Es Cuantitativo, debido a que se recolectaran y analizaran datos numéricos.

Según su ubicación temporal:

9.1.3 Prospectivo

El estudio es prospectivo, ya que se estudiarán los datos obtenidos durante la investigación, según vayan surgiendo.

9.1.4 Transversal

Es de corte transversal pues se realizará un corte en la línea del tiempo desde Enero 2020 hasta Julio 2021.

9.2. Área de estudio

Estado Managua es la ciudad capital de Nicaragua, así como la sede del gobierno y los poderes del. Se localiza en el occidente de Nicaragua, en la costa suroeste del lago Xolotlán o Managua, es la ciudad más grande del país en términos de población y extensión geográfica. La ciudad limita al norte con el lago Xolotlán, al sur con el municipio de Ticuantepe, al este con Nindirí y al oeste con Villa del Carmen.

9.3. Universo y Muestra

Nuestro universo es el municipio de Managua y la muestra son puntos de estudio ubicados en distintos Zonas de la ciudad.

9.4. Operacionalización de variables.

Tabla 4: Operacionali

Objetivo específico	Variable conceptual	Sub variable	Variable operativa	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.
Calcular magnitud momento de las principales fallas geológicas de Managua, a partir de su desplazamiento.	Magnitud Momento	Longitud de Falla Ancho de falla Desplazamiento de falla	Parámetros de Falla	A partir de fórmulas. <ul style="list-style-type: none"> Magnitud Local (ML) $ML = \text{Log}_{10} A$ Magnitud de ondas de cuerpo (Mb) $Mb = \text{Log} (A/T) + Q (\Delta, h)$ Magnitud de ondas superficiales (Ms) $Ms = \text{Log} (A/T) + 1.66 \text{Log} \Delta + 3.3$ Magnitud Momento (Mw) $Mw = \log_{10} Mo \cong 1.5Mw + 9.1$ Momento sísmico (Mo) $Mo \log_{10} Es \cong \log_{10} Mo - 4.$
Analizar datos de microtemores y cuantificar parámetros dinámicos como frecuencias, periodos, amplificaciones de los suelos, mediante la técnica Nakamura en los diferentes puntos distribuidos en la ciudad de Managua.	Ruido ambiental Parámetros dinámicos	Función de transferencia empírica. Periodo Frecuencia Amplificación	Componente Vertical Componente Horizontal Ruido Ambiental Intervalos de Periodo Intervalos de Frecuencia Intervalos de Amplificación	Programa de Nakamura H-Vratioprogram Wave Programa Técnica de Nakamura Fouspc
Estimar modelos de velocidad de la onda de corte (Vs) a partir de registro de microtemores el área de estudio.	Modelo de Velocidad Vs y Vp.	Espesores de capas. Velocidades de capas. Profundidad.	Intervalos de espesores. Intervalos de velocidad. Intervalos de profundidad.	Programa Técnica de Nakamura. RayHVSH

9.5. Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos e información

Para la realización de este estudio se consultó bibliografías, monografías, artículos, revistas, informes, mapas geológicos, para obtener información.

Se utilizarán herramientas para el trabajo de campo como brújula, GPS, piqueta, libreta de campo, cinta métrica, lupa, laptop, se empleará el equipo McSEIS-MT NEO, para la obtención de datos de microtemores, el cual es un acelerómetro digital, que contiene tres sensores internos y le pueden ser acoplados tres sensores externos de periodo largo. Además, se le integrara un sistema de posicionamiento global (GPS).

Figura 16. Herramientas de levantamiento de campo.



Se utilizarán las técnicas de observación, trabajo de campo, la Técnica de Nakamura (Técnica del Cociente Espectral H/V), para el análisis de mediciones de microtemores, la cual calcula, las frecuencias, períodos y amplitudes de vibración de los suelos y permite identificar los modos de vibración del suelo y la frecuencia fundamental (f_0) de esta vibración.

9.6. Procedimientos para la recolección de datos e información

Para este estudio se recolectará información, a través de investigaciones y estudios previos realizados en el área de Managua, relacionados con el tema de estudio. Luego de realizar la investigación de campo y recopilación de datos utilizando la técnica de Nakamura. Así mismo, se analizarán imágenes satelitales del área de estudio y mapas de fallamiento de la ciudad de Managua. Se recolecto datos de microtemores un total de 49 puntos, divididos en 4 zonas de Managua, a continuación se presentan en la figura 18. En el anexo III se observan con mayor detalle.

Figura 17. Mapa de ubicación de puntos analizados, pertenecientes a cada una de las zonas de estudio.



Fuente: Base de datos Cartográfica, INETER 2003.

9.7. Plan de análisis y procesamiento de datos

Para este estudio se utilizarán herramientas de Microsoft Office 2016 como Word, Excel y Power Point para la redacción del informe investigativo y procesamiento de datos, también se empleará software de Sistema de Información Geográfica (SIG), como ArcGis 10.3 de ESRI y AutoCAD de AUTODESK, mtn2asc_manual.prm, Wavemic2009v4e.exe y FouspcMicGv4.exe del Dr. Kiminobu Eto, 2004, para el procesamiento de datos de microtemores.

10. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

10.1 Calculo de Magnitud Momento (Mw) de las principales Fallas de Managua

Con la recolección de información y la toma de datos en campo, se logró obtener información eficaz para poder llevar a cabo el cálculo de magnitud momento (Mw), sobre un posible evento sísmico con epicentros en las principales fallas geológicas en la Ciudad de Managua; esto es necesario ya que dicho cálculo nos brinda información de parámetros de falla como longitud de falla, ancho de falla y tomando los desplazamientos que se encuentran en la tabla 1, extraídos de estudios previos.

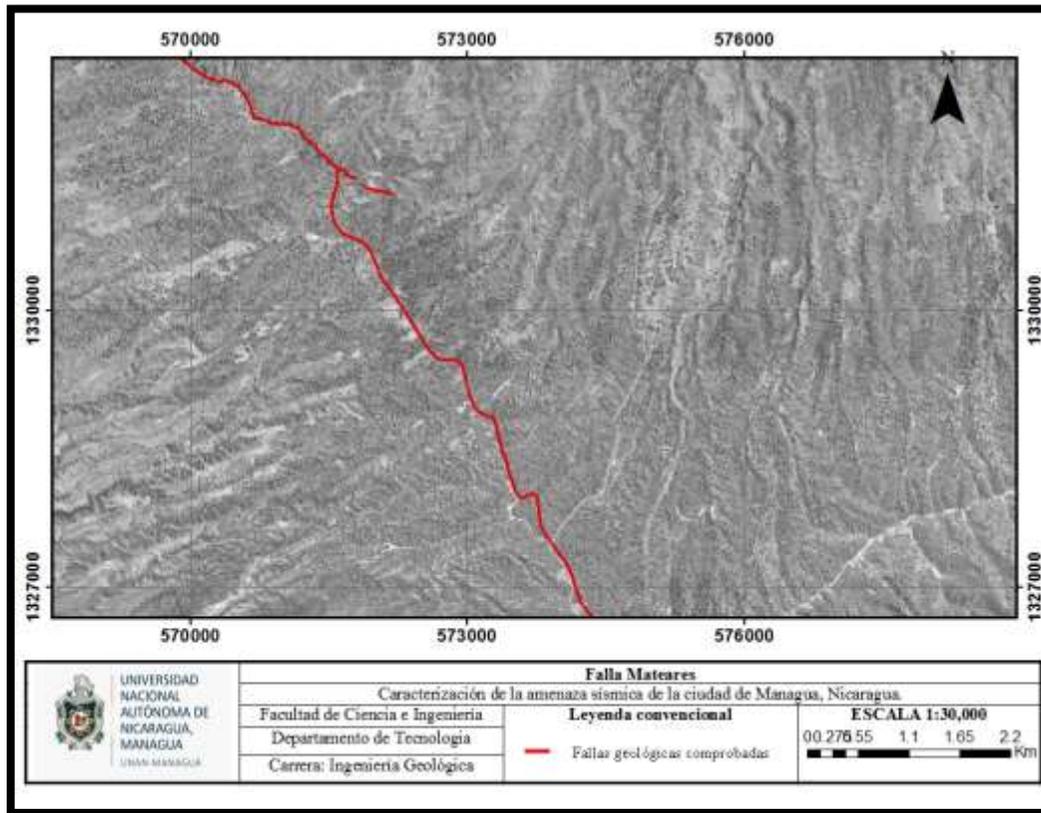
10.1.1 Falla Mateares

La falla Mateares tiene una dirección Noroeste-Sureste, con longitud de 52 km de largo, marca el límite oeste del graben de Managua y localmente constituye ese mismo límite en la Depresión de Nicaragua. La falla proyecta 2 ramales antes de alcanzar el lago de Managua.

Morfológicamente la falla Mateares está representada por el valle de Ticomo (Ciudad Sandino). Con facetas triangulares, aunque muy erosionadas y barrancos en el escarpe de la falla Mateare al Oeste del Pueblo de San Andrés de Las Palancas. Estas características geomorfológicas indican que la falla tiene un movimiento de componente normal predominante. El escarpe está fuertemente incidido por barrancos, pero en sentido general conserva un perfil muy regular debido a la homogeneidad de las rocas que se observan en la cara este del escarpe, la expresión en la superficie de esta falla es un escarpe con un claro desnivel de 300 m a 500 m (Martínez, 1994). Cuya cara se orienta hacia el noreste, este

escarpe está conformado por depósitos de ignimbritas de la Formación la Sierra (finales de la edad Cuaternaria).

Figura 18. Escarpe de la falla Mateare.



Fuente: (Base Cartográfica, INETER- 2003).

Es una falla normal oblicua, con componente lateral derecha, Norte hundido hacía el N-E, las evidencias indican que esta falla tiene su menor desplazamiento en la zona situada al Norte del Crucero (Kuang, 1971), llegando a perder su traza en esta zona aumentando su desplazamiento hacia el N. Con una longitud de 50 km, (McBirney y Williams, 1965).

Para calcular el desplazamiento de la falla despejamos la fórmula de longitud $L=2 \times 10^4 U$ donde U es el desplazamiento de la falla (m).

Usando la ecuación 5: $L=2 \times 10^4 U$

Despejamos para encontrar el desplazamiento de la falla Mateare

$$U = L / 2 \times 10^4$$

U: Desplazamiento de Falla (m)

$$U = 50,000 / 20,000$$

$$U = 2.5 \text{ m}$$

Comprobamos con la fórmula de longitud

$$L = 2 \times 10^4 U$$

$$L = (20,000) (2.5)$$

$$L = 50,000 \text{ m}$$

$$L = 50 \text{ km}$$

De modo que para la falla con desplazamiento de ~ 2.5 m, quedándonos de la siguiente forma

$$L = 2 \times 10^4 U$$

$$L = 20,000 \cdot 2.5 \text{ m}$$

$$L = 50,000 \text{ m}$$

$$L = 50 \text{ km}$$

Los parámetros de fallas incluyen desplazamiento, longitud de falla y ancho de falla, este último es posible obtener con la siguiente ecuación:

$$\text{Ecuación 4: } L \cong 2W$$

Dónde:

W: ancho de falla

Al ser ancho de falla (W) nuestra incógnita debemos despejar la ecuación de la siguiente manera:

$$W = L / 2$$

Por lo tanto, para la falla con Longitud de 50,000 m se expresaría de la siguiente manera:

$$W = 50,000/2$$

$$W = 25,000\text{m}$$

$$W = 25\text{km}$$

Obteniendo la longitud de la falla por medio del desplazamiento procedemos utilizar la ecuación 7 por el hecho de solo tener una sola incógnita en dicha expresión que es la magnitud momento (M_w) nuestra duda, se debió hacer el correspondiente despeje:

$$\text{Log}_{10} = 0.5M_w + 1.1$$

Despejamos

$$M_w = \text{Log}_{10}L - 1.1/0.5$$

Para la falla con Longitud de 50,000 m se expresa de la siguiente forma:

$$M_w = \text{Log}_{10}L - 1.1/0.5$$

$$M_w = \text{Log}_{10}(50,000) - 1.1/0.5$$

$$M_w = \text{Log}_{10}(3.5) / 0.5$$

$$M_w = 7.1$$

Este estudio se enfoca en calcular la magnitud momento a partir del desplazamiento de falla, en el caso de la falla Mateares presenta un desplazamiento de 2.5m, este cálculo nos da como resultado para un posible evento sísmico con epicentro en esta zona de falla alcanzaría magnitud aproximada de $M_w = 7.1$.

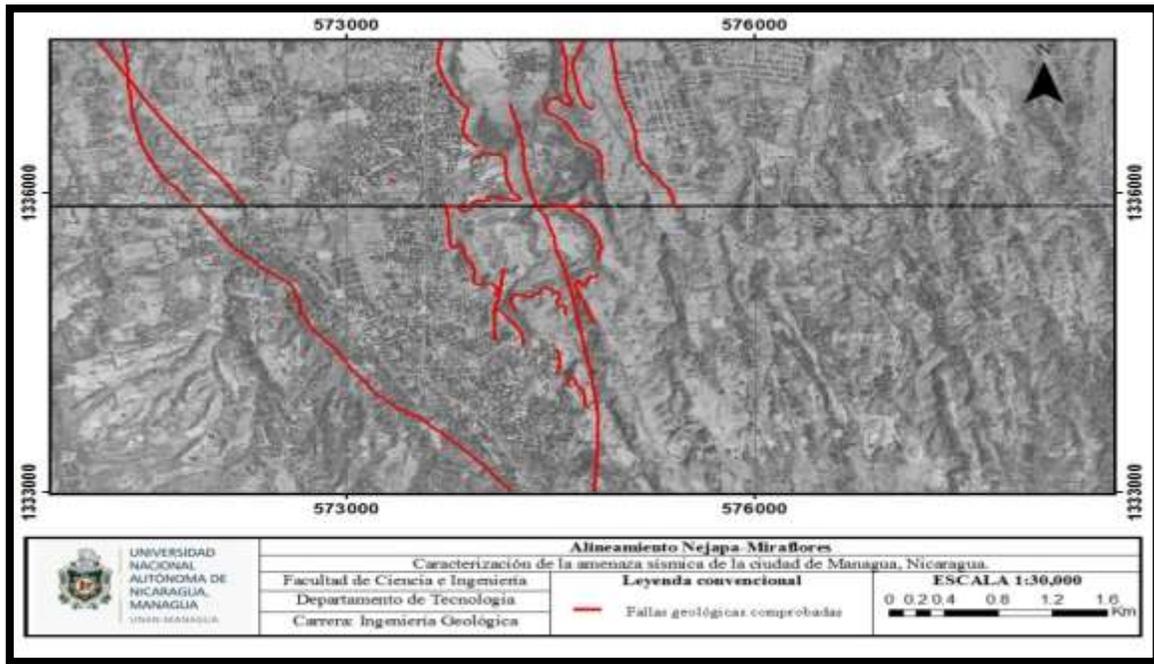
10.1.2. Falla Nejapa

Falla Najapa-Miraflores este sistema determina el límite occidental del graben de Managua. Basándose en la morfología y estratigrafía, el segmento de la parte norte es considerado el más antiguo y de mayor longitud en la falla Nejapa que alberga el mayor número de estructuras volcánicas, dentro de la zona de Falla se encuentran alineadas 25 estructuras volcánicas de edad Cuaternaria como son: Cono de escoria, Domos dacíticos, anillos de toba, Maares y volcán compuesto, Espinoza. F. (2007). La Falla se divide en 3 segmentos principales denominados: segmento sur Ticomó; segmento central, cuesta el plomo y segmento norte o complejo volcánico Apoyéque dentro de estos segmentos se encuentran alineados aproximadamente 25 volcanes monogénicos de edad cuaternaria: conos de escoria, domos dacíticos y conos de toba. La falla Nejapa-Miraflores tiene un escarpe de 80 m.

Litológicamente la falla Nejapa-Miraflores presenta materiales piroclásticos que se observan en el corte localizado a un costado de carretera Sur, en el sector conocido como cuesta El Plomo, donde afloran materiales piroclásticos compactos, y una capa de pómez de Apoyéque (capa guía del Grupo Managua)

La Falla Nejapa presenta una geometría échelon derecho con la zona de relevo aproximadamente de 0.8 km en la parte Sur y 0.9 km en la parte Norte, en términos generales la Falla tiene un ángulo de apertura de 20° localizándose su ápice en la parte Sur la mayor apertura en la parte Norte con un desplazamiento de 5 km (Espinoza. F., 2007).

Figura 19. Alineamiento Nejapa-Miraflores



Fuente: Base Cartográfica, INETER- 2003.

La falla Nejapa-Miraflores se ha definido como una falla normal con una inclinación al este y con una componente lateral derecha. Tiene una dirección N-S con una longitud de 24 km y un ancho de 2 km en su extremo Sur y 5 en su extremo Norte.

Para calcular el desplazamiento de la falla despejamos la fórmula de longitud $L=2 \times 10^4 U$ donde U es el desplazamiento de la falla (m).

Usando la ecuación 5: $L=2 \times 10^4 U$

Dónde:

- U: Desplazamiento de Falla (m)

Para el alineamiento de Nejapa- Miraflores su desplazamiento varía desde 1m, de modo que para la falla con desplazamiento de un $\sim 1m$, nos queda de la siguiente forma:

$$L=2 \times 10^4 U$$

$$L= 20,000. 1m$$

$$L= 20,000m$$

$$L= 20km$$

Los parámetros de fallas incluyen desplazamiento, longitud de falla y ancho de falla, este último es posible obtener con la siguiente ecuación:

$$\text{Ecuación 4: } L \cong 2W$$

Dónde:

W: ancho de falla

Al ser ancho de falla (W) nuestra incógnita debemos proceder a despejar la ecuación de la siguiente manera:

$$W= L/2$$

Por lo tanto, para la falla con Longitud de 20,000 m y la falla con Longitud de 60,000 m se expresaría de la siguiente manera:

$$W= 20,000/2$$

$$W=10,000 \text{ m}$$

$$W= 10km$$

Obteniendo la longitud de la falla por medio del desplazamiento procedemos utilizar la ecuación 7 por el hecho de solo tener una sola incógnita en dicha expresión que es la magnitud momento (M_w) nuestra duda, se debió hacer el correspondiente despeje:

$$\text{Log}_{10}=0.5M_w+1.1$$

Despejado

$$M_w=\text{Log}_{10}L-1.1/0.5$$

Para la falla con longitud de 20,000 m y la falla de longitud de 60,000 m, se expresa de la siguiente forma:

$$M_w=\text{Log}_{10}L-1.1/0.5$$

$$M_w = \text{Log}_{10}(20,000) - 1.1/0.5$$

$$M_w = \text{Log}_{10}(3.2) / 0.5$$

$$M_w = 6.4$$

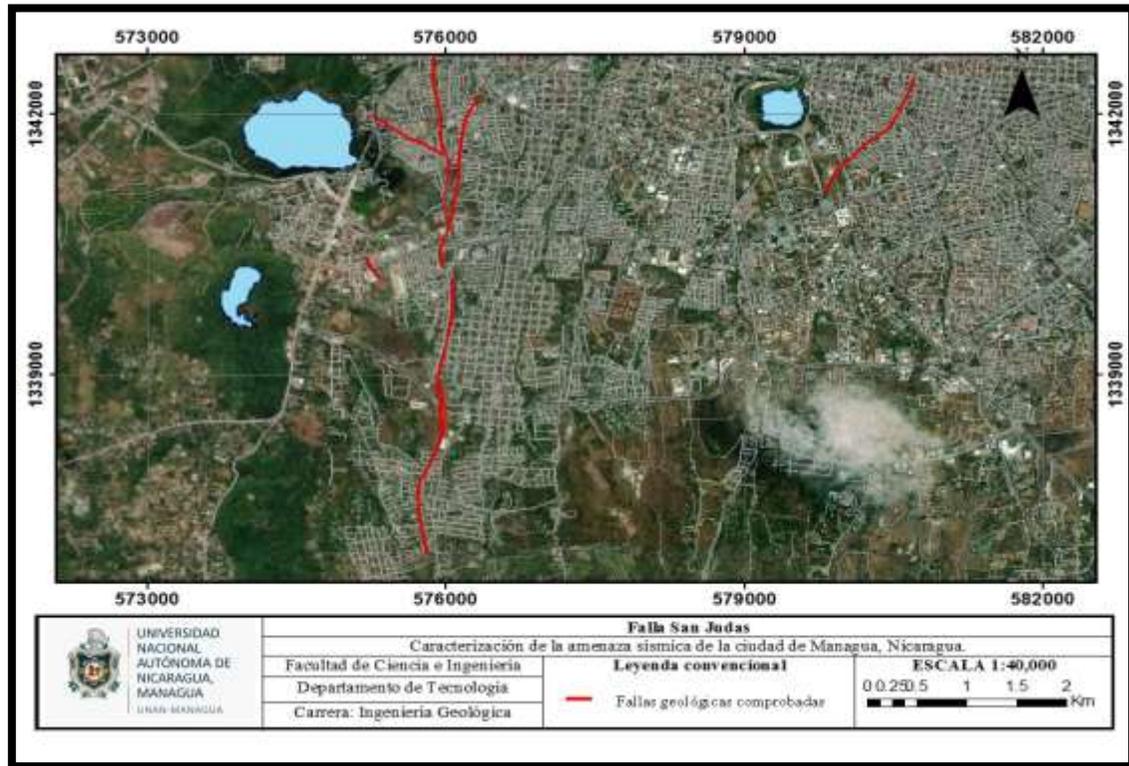
Este estudio se enfoca en calcular la magnitud momento a partir del desplazamiento de falla, en el caso del sistema de falla Nejapa-Miraflores presenta un desplazamiento de 1m, para un posible evento sísmico con epicentro en esta zona de falla alcanzarían magnitud aproximada de $M_w = 6.4$.

10.1.3 Falla San Judas

Nombrada por Kuang. J. (1973). Esta falla se ubica en el sector oeste del graben de Managua en la parte oeste de la ciudad de Managua. Forma un escarpe de 80 m. La falla San Judas presenta un escarpe de 15 m máximo de profundidad, el escarpe se observa con mayor claridad desde el barrio San Judas hacia el Sur y se puede seguir por varios kilómetros en la dirección mencionada, con una altura promedio entre 4 y 8 m.

Litológicamente afecta a las rocas ignimbritas de la Formación La Sierra, de edad Terciaria y depósitos piroclásticos de caída pertenecientes a la Formación Managua de edad Cuaternaria. En esta zona se observan depósitos de la Formación Managua, La Formación Chiltepe (Bice, 1985; Kutterolft et al., 2007).

Figura 20. Falla San Judas



Fuente: Base Cartográfica, INETER- 2003.

Esta falla se encuentra constituida por siete segmentos principales, con geometría de échelon derecho y zonas de relevo de 0.2 a 0.7 km de longitud. Ha sido descrita como una falla con desplazamiento normal, orientada en dirección N-S y una longitud de 4.6 km que se caracteriza por un gran escarpe en forma de arco.

Para calcular el desplazamiento de la falla despejamos la fórmula de longitud $L=2 \times 10^4 U$ donde U es el desplazamiento de la falla (m).

Usando la ecuación 5: $L=2 \times 10^4 U$

Dónde:

- U: Desplazamiento de Falla (m)

De modo que para la falla con desplazamiento de ~1m, quedándonos de la siguiente forma

$$L=2 \times 10^4 U$$

$$L= 20,000. 1m$$

$$L= 20,000m$$

$$L= 20km$$

Los parámetros de fallas incluyen desplazamiento, longitud de falla y ancho de falla, este último es posible obtener con la siguiente ecuación:

$$\text{Ecuación 4: } L \cong 2W$$

Dónde:

W: ancho de falla

Al ser ancho de falla (W) nuestra incógnita debemos despejar la ecuación de la siguiente manera:

$$W= L/2$$

Por lo tanto, para la falla con Longitud de 20,000 m se expresaría de la siguiente manera:

$$W= 20,000/2$$

$$W=10,000$$

$$W= 10km$$

Obteniendo la longitud de la falla por medio del desplazamiento procedemos utilizar la ecuación 7 por el hecho de solo tener una sola incógnita en dicha expresión que es la magnitud momento (M_w) nuestra duda, se debió hacer el correspondiente despeje:

$$\text{Log}_{10}=0.5M_w+1.1$$

Despejamos

$$M_w=\text{Log}_{10}L-1.1/0.5$$

Para la falla con Longitud de 20,000 m se expresa de la siguiente forma:

$$M_w=\text{Log}_{10}L-1.1/0.5$$

$$M_w=\text{Log}_{10}(20,000)-1.1/0.5$$

$$M_w = \text{Log}_{10} (3.2) / 0.5$$

$$M_w = 6.4$$

Este estudio se enfoca en calcular la magnitud momento a partir del desplazamiento de falla, en el caso de la falla San Judas presenta un desplazamiento de 1m, para evento sísmico con epicentro en esta zona de falla alcanzaría una magnitud aproximada de $M_w = 6.4$.

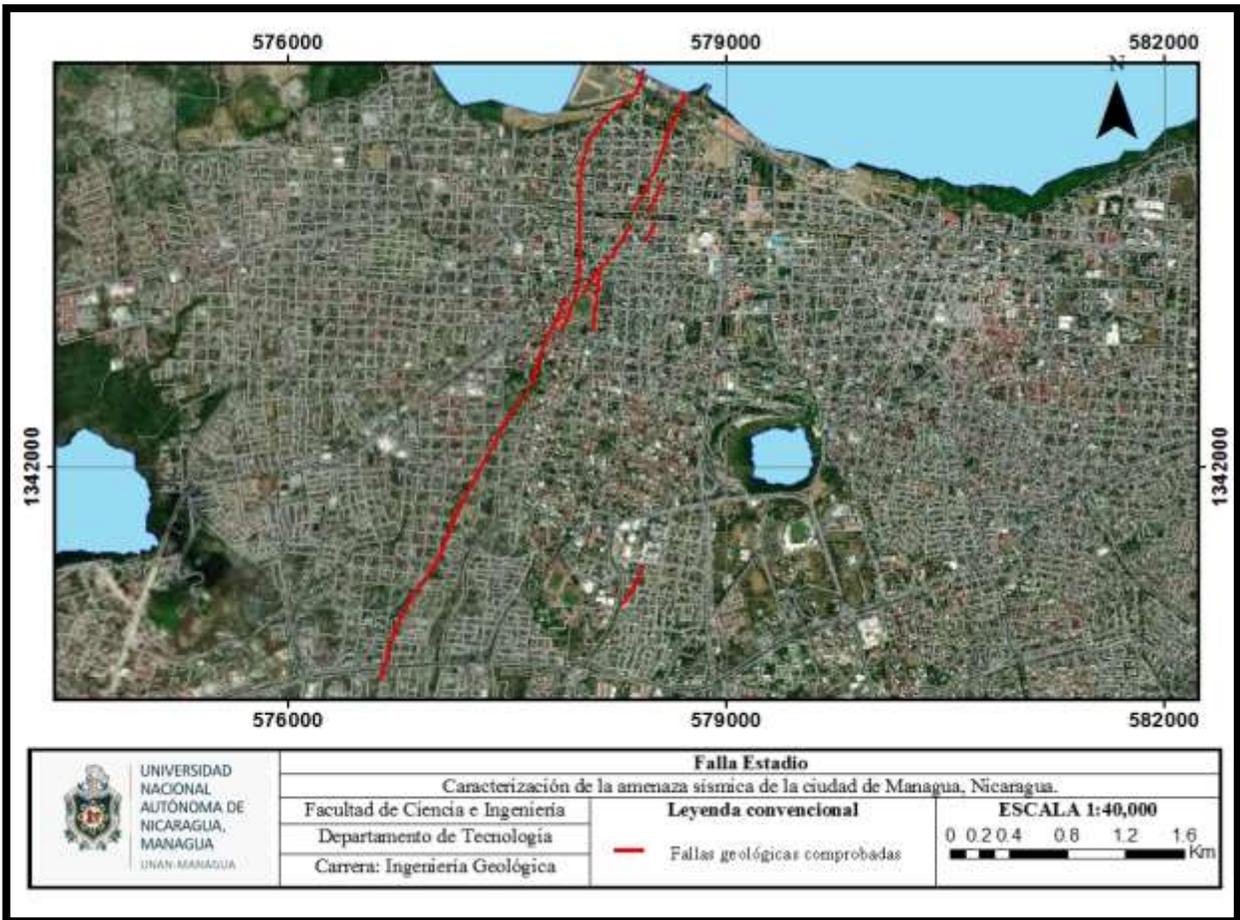
10.1.4 Falla Estadio

Se localiza en el margen oeste del antiguo centro de Managua, pasa por el Estadio Nacional de Béisbol y se prolonga hacia el noreste del Lago Xolotlán, forma un escarpe de 1 m. (Sultan, 1931; Woodward-Clyde, 1975).

Esta falla ha sido descrita históricamente, como un sistema de fallas normales con componente lateral derecha, de dirección N-NE. Se define como un sistema de fallas activas sub-paralelas en dirección N-NE, dispuestas en una zona de ruptura dinámico con ancho promedio de 200 m y su longitud fue calculada de 500 m, con una longitud de 16.2 km, Zambrana, Z. (2009).

Esta falla está constituida por cuatro segmentos principales que poseen geometría échelon derecho, que muestran un sentido de movimiento lateral izquierdo y localmente presentan una componente extensional con un desplazamiento vertical, con zonas de relevo desde 0.6 a 2.8 km de longitud. Litológicamente afecta a las rocas ignimbritas de la Formación Las Sierras de edad Terciaria y depósitos piroclásticos de caída pertenecientes a la Formación Managua de edad Cuaternaria.

Figura 21. Mapa de Falla Estadio.



Fuente: Base Cartográfica, INETER- 2003.

Para calcular el desplazamiento de la falla despejamos la fórmula de longitud $L=2 \times 10^4 U$ donde U es el desplazamiento de la falla (m).

Usando la ecuación 5: $L=2 \times 10^4 U$

Donde

- U: Desplazamiento de Falla (m)

De modo que para la falla con desplazamiento de ~1m, quedándonos de la siguiente forma

$$L=2 \times 10^4 U$$

$$L= 20,000. 0.5m$$

$$L= 10,000m$$

$$L= 10km$$

Los parámetros de fallas incluyen desplazamiento, longitud de falla y ancho de falla, este último es posible obtener con la siguiente ecuación:

$$\text{Ecuación 4: } L \cong 2W$$

Dónde:

W: ancho de falla

Al ser ancho de falla (W) nuestra incógnita debemos despejar la ecuación de la siguiente manera:

$$W= L/2$$

Por lo tanto, para la falla con Longitud de 20,000 m, se expresaría de la siguiente manera:

$$W= 10,000/2$$

$$W=5,000$$

$$W= 5km$$

Obteniendo la longitud de la falla por medio del desplazamiento procedemos utilizar la ecuación 7 por el hecho de solo tener una sola incógnita en dicha expresión que es la magnitud momento (M_w) nuestra duda, se debió hacer el correspondiente despeje:

$$\text{Log}_{10} = 0.5M_w + 1.1$$

Despejamos

$$M_w = \text{Log}_{10}L - 1.1/0.5$$

Para la falla con Longitud de 10,000 m se expresa de la siguiente forma:

$$M_w = \text{Log}_{10}L - 1.1/0.5$$

$$M_w = \text{Log}_{10}(10,000) - 1.1/0.5$$

$$M_w = \text{Log}_{10} (2.9) / 0.5$$

M_w=5.8

Este estudio se enfoca en calcular la magnitud momento a partir del desplazamiento de falla, en el caso de la falla Estadio presenta un desplazamiento de 0.5m, para un posible evento sísmico con epicentro en esta zona de falla alcanzaría una magnitud aproximada de M_w = 5.8.

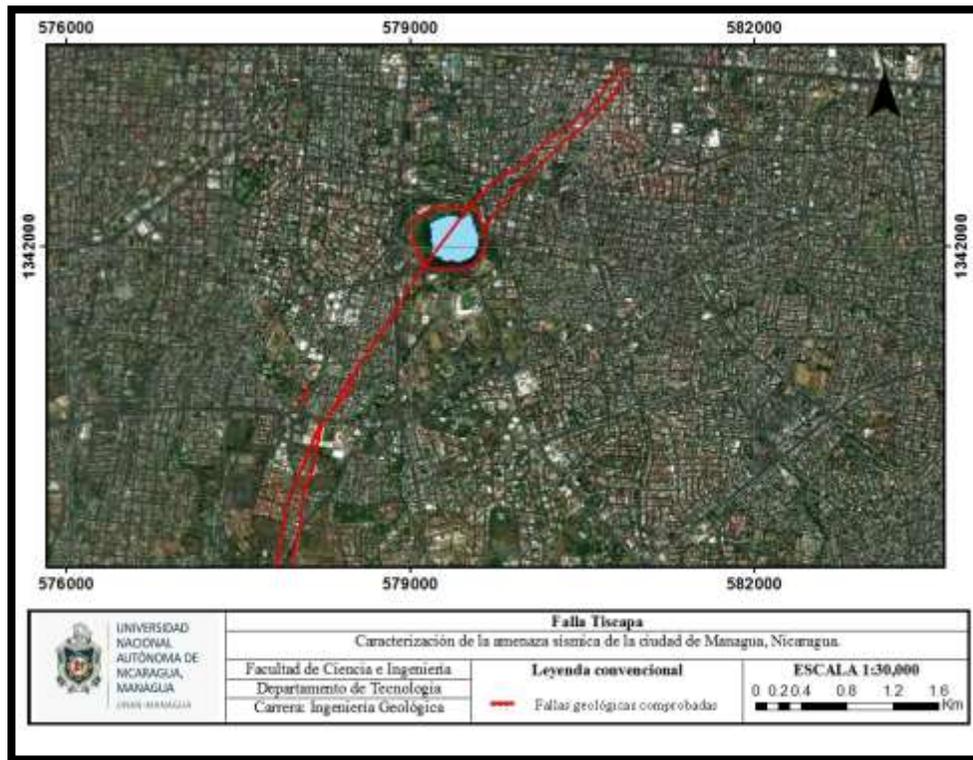
10.1.5 Falla Tiscapa

La falla Tiscapa se localiza en la parte central de la ciudad de Managua. Descrita por Kuang, J. (1973); Brown, R.D et al. (1973) Woodward-Clyde Associates. (1975), entre otros como una falla de movimiento normal y desplazamiento lateral izquierdo, que tiene una longitud de 5.8 km.

Su geomorfología se representa por laderas medias a altas, de carácter acumulativo volcánico, con notable fracturación interna reflejada. Y una secuencia in situ de depósitos de tefra, originado por el Maar Tiscapa (Freundt et al., 2009). La falla Tiscapa tiene poca expresión topográfica, sobre todo en la zona de la ciudad, excepto en la zona de la laguna de Tiscapa donde es claramente visible el desplazamiento sobre la pared Noreste del cráter, mientras que, en la zona suroeste de la laguna, se observa un desplazamiento lateral derecho de unos 25 m. La falla Tiscapa es representada por cuatro segmentos principales, que poseen geometría échelon derecho y zonas de relevo desde 0.7 a 1 km de longitud.

Litológicamente afecta a rocas ignimbritas de la Formación Las Sierras, de edad Terciarias; las que se encuentran cubiertas por depósitos piroclásticos de caída pertenecientes a la Formación Managua de la edad Cuaternaria.

Figura 22. Laguna de Tiscapa, donde atraviesa la falla del mismo nombre



Fuente: Base Cartográfica, INETER- 2003.

Para calcular el desplazamiento de la falla despejamos la fórmula de longitud $L=2 \times 10^4 U$ donde U es el desplazamiento de la falla (m).

Usando la ecuación 5: $L=2 \times 10^4 U$

Donde

- U: Desplazamiento de Falla (m)

De modo que para la falla con desplazamiento de ~ 0.5 m, quedándonos de la siguiente forma

$$L=2 \times 10^4 U$$

$$L= 20,000. 1m$$

$$L=20,000m$$

$$L = 20 \text{ km}$$

Los parámetros de fallas incluyen desplazamiento, longitud de falla y ancho de falla, este último es posible obtener con la siguiente ecuación:

$$\text{Ecuación 4: } L \cong 2W$$

Dónde:

W: ancho de falla

Al ser ancho de falla (W) nuestra incógnita debemos despejar la ecuación de la siguiente manera:

$$W = L/2$$

Por lo tanto, para la falla con Longitud de 20,000 m, se expresaría de la siguiente manera:

$$W = 20,000/2$$

$$W = 10,000\text{m}$$

$$W = 10\text{km}$$

Obteniendo la longitud de la falla por medio del desplazamiento procedemos utilizar la ecuación 7 por el hecho de solo tener una sola incógnita en dicha expresión que es la magnitud momento (M_w) nuestra duda, se debió hacer el correspondiente despeje:

$$\text{Log}_{10} = 0.5M_w + 1.1$$

Despejamos

$$M_w = \text{Log}_{10}L - 1.1/0.5$$

Para la falla con Longitud de 20,000 m se expresa de la siguiente forma:

$$M_w = \text{Log}_{10}L - 1.1/0.5$$

$$M_w = \text{Log}_{10}(20,000) - 1.1/0.5$$

$$M_w = \text{Log}_{10} (3.2) / 0.5$$

$$M_w = 6.4$$

Este estudio se enfoca en calcular la magnitud momento a partir del desplazamiento de falla, en el caso de la falla Tiscapa presenta un desplazamiento de 1m, para posible evento sísmico con epicentro en esta zona de falla alcanzaría una magnitud de aproximada de $M_w = 6.4$.

10.1.6 Falla Aeropuerto

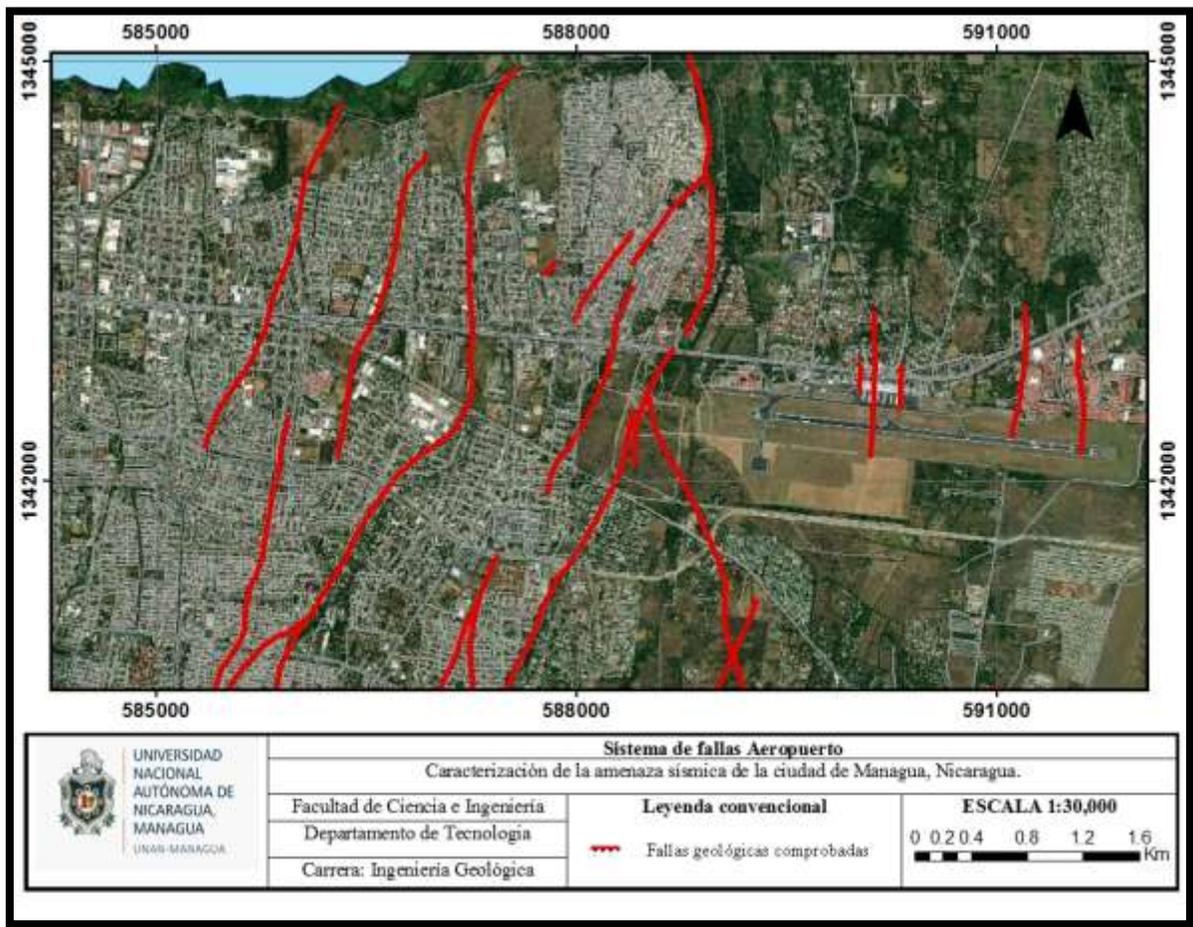
Esta falla ha sido descrita por Kuang, J. (1973), Woodward- Clyde Associates. (1975) y Cowan, H. (2000) como una falla de tipo normal con desplazamiento total de 0.5 m, de orientación N-S, extendiéndose desde Las Jaguitas hasta las costas del Lago Xolotlán (Managua), con una longitud de 3.4 km, prologándose hasta la localidad de San Francisco Libre en su extremo Sur.

En general presenta planicies bajas formadas sobre acumulaciones volcánicas y fluviales. El área se describe por su morfología hundida e inclinada convirtiéndose en una zona de deposición piroclásticas, lavas de erupciones volcánicas explosivas de actividad volcánica, con un basamento aflorante y profundo, con condiciones hidrológica de nivel freático somero y profundo (Segura, 2000). Esta falla presenta un escarpe que va de 10 a 12 m.

Según su litología esta zona se caracteriza por la presencia de la toba Masaya, coladas de lavas de composición andesítica-basáltica, provenientes de la caldera Masaya (Bice, 1985; Kutterolft et al, 2007), y depósitos aluviales. Las rocas ignimbritas son afectadas por esta falla, pertenecientes a la Formación La Sierra, de edad Terciaria y depósitos piroclásticos de caída perteneciente a la Formación Managua de la edad Cuaternaria y depósitos aluviales de edad Resientes.

La falla Aeropuerto está constituida por una serie de segmentos de fallas que poseen geometría en échelon derecho, con zonas de relevo de 0.5 a 2.7 km de longitud. La orientación de esta falla es variante debido que en la parte Norte posee una orientación norte-sur y en la parte Sur cambia de orientación Noreste-Suroeste.

Figura 23. Mapa de Sistema de falla Aeropuerto.



Fuente: Base Cartográfica, INETER- 2003.

Para calcular el desplazamiento de la falla despejamos la fórmula de longitud $L=2 \times 10^4 U$ donde U es el desplazamiento de la falla (m).

Usando la ecuación 5: $L=2 \times 10^4 U$

Donde

- U: Desplazamiento de Falla (m)

Para el sistema falla Aeropuerto su desplazamiento es de 0.5 m, de modo que para la falla con el desplazamiento de ~ 0.5 m nos queda de la siguiente forma:

$$L=2 \times 10^4 U$$

$$L = 20,000 \cdot 0.5m$$

$$L = 10,000m$$

$$L = 10km$$

Los parámetros de fallas incluyen desplazamiento, longitud de falla y ancho de falla, este último es posible obtener con la siguiente ecuación:

$$\text{Ecuación 4: } L \cong 2W$$

Dónde:

W: ancho de falla

Al ser ancho de falla (W) nuestra incógnita debemos despejar la ecuación de la siguiente manera:

$$W = L/2$$

Por lo tanto, para la falla con Longitud de 10,000 m y la falla con Longitud de 20,000 m se expresaría de la siguiente manera:

$$W = 10,000/2$$

$$W = 5,000 \text{ m}$$

$$W = 5km$$

Obteniendo la longitud de la falla por medio del desplazamiento procedemos utilizar la ecuación 7 por el hecho de solo tener una sola incógnita en dicha expresión que es la magnitud momento (M_w) nuestra duda, se debió hacer el correspondiente despeje:

$$\text{Log}_{10} = 0.5M_w + 1.1$$

Despejamos

$$M_w = \text{Log}_{10}L - 1.1/0.5$$

Para la falla con longitud de 10,000 m y la falla de longitud de 20,000 m, se expresa de la siguiente forma:

$$M_w = \log_{10} L - 1.1/0.5$$

$$M_w = \log_{10}(10,000) - 1.1/0.5$$

$$M_w = \log_{10}(2.9) / 0.5$$

$$M_w = 5.8$$

Este estudio se enfoca en calcular la magnitud momento a partir del desplazamiento de falla, en el caso de la falla Aeropuerto presenta un desplazamiento de 0.5 m, para un posible evento sísmico con epicentro en esta zona de falla alcanzaría una magnitud de aproximada de $M_w = 5.8$.

10.1.7 Falla Cofradía

La falla cofradía delimita el extremo Este del Graben de Managua, extendiéndose desde la costa del Lago Xolotlán hasta la caldera Masaya con una longitud de 32 km.

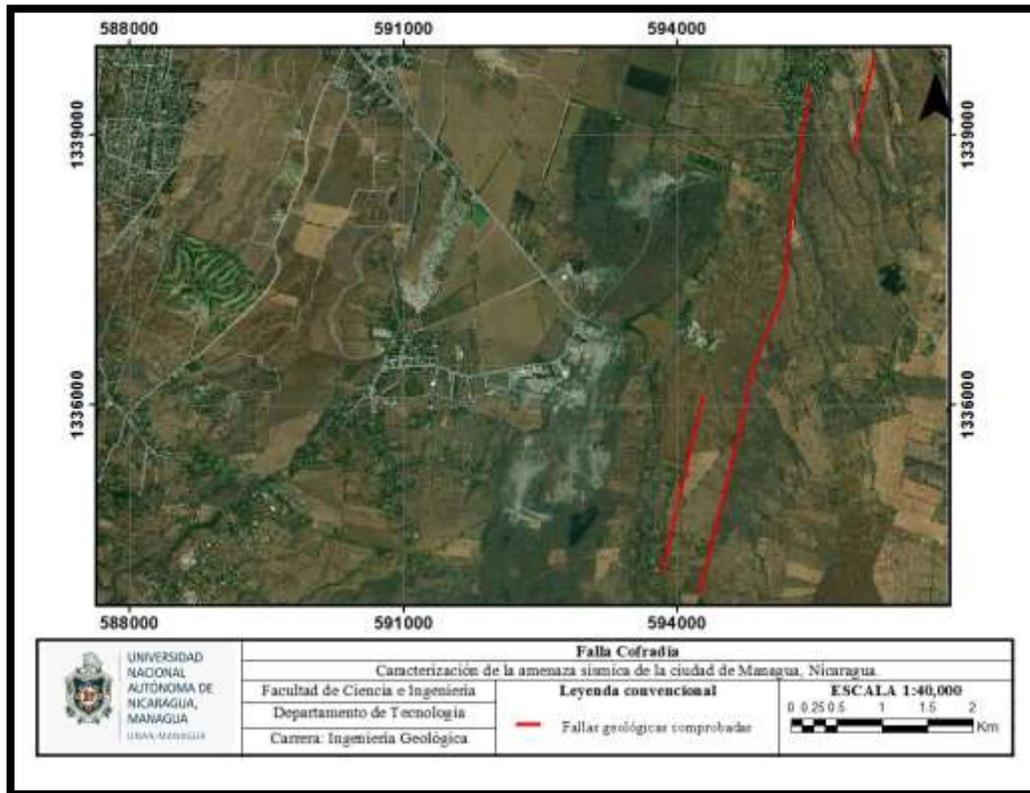
Esta falla ha sido descrita por Kuang, J. y R, L. Williams (1971), Arce, J. (1973) y Woodward- Clyde Associates. (1975). Como una falla normal de orientación N-S. Con una longitud de 40 km de largo, cuya expresión está bien definida con la presencia de un escarpe que presenta diferentes alturas a lo largo de su longitud Rubí, C. (2011).

Su morfología se representa por un relieve creado por movimiento de actividad Holocena de distintas ramas de la falla de Cofradía (Dames y Moore-Lamsa, 1978). Al S de Tipitapa al pie del escarpe de la falla y hasta la falla de Aeropuerto, se extiende una pequeña llanura cubierta de aluviones muy recientes en la que se pierden los pequeños cursos, que encajados, descienden de los relieves del labio oriental de la falla de Cofradía. A lo largo de la costa se dispone una estrecha franja de terrazas (Cowan et al, 2002) que localmente finalizan en escarpe erosivos.

La falla Cofradía se encuentra representada por seis segmentos principales, con geometría échelon derecho y zonas de relevo de 0.5 a 1.8 km. Litológicamente esta falla se encuentra afectando a sedimentos aluviales de edad reciente y depósitos volcánicos de caída pertenecientes a la Formación Managua, de edad Cuaternaria; todos estos se encuentran

sobre un basamento de composición ignimbrítica pertenecientes a la Formación Las Sierras, de edad Terciaria. En el punto visitado tomamos un escarpe de 15 m.

Figura 24. Sistema de falla Cofradía.



Fuente: Base Cartográfica, INETER- 2003.

Para calcular el desplazamiento de la falla despejamos la fórmula de longitud $L=2 \times 10^4 U$ donde U es el desplazamiento de la falla (m).

Usando la ecuación 5: $L=2 \times 10^4 U$

Donde

- U: Desplazamiento de Falla (m)

Para el sistema falla Cofradía su desplazamiento de 0.5 m, de modo que para la falla con desplazamiento de ~ 0.5 m nos queda de la siguiente forma:

$$L=2 \times 10^4 U$$

$$L= 20,000. 0.5m$$

$$L= 10,000m$$

$$L= 10km$$

Los parámetros de fallas incluyen desplazamiento, longitud de falla y ancho de falla, este último es posible obtener con la siguiente ecuación:

$$\text{Ecuación 4: } L \cong 2W$$

Dónde:

W: ancho de falla

Al ser ancho de falla (W) nuestra incógnita debemos despejar la ecuación de siguiente manera:

$$W= L/2$$

Por lo tanto, para la falla con Longitud de 20,000 m y la falla con Longitud de 20000 m se expresaría de la siguiente manera:

$$W= 10,000/2$$

$$W=5,000 m$$

$$W= 5km$$

Obteniendo la longitud de la falla por medio del desplazamiento procedemos utilizar la ecuación 7 por el hecho de solo tener una sola incógnita en dicha expresión que es la magnitud momento (M_w) nuestra duda, se debió hacer el correspondiente despeje:

$$\text{Log}_{10}=0.5M_w+1.1$$

Despejamos

$$M_w=\text{Log}_{10}L-1.1/0.5$$

Para la falla con longitud de 10,000 m y la falla de longitud de 20,000 m, se expresa de la siguiente forma:

$$M_w = \text{Log}_{10}L - 1.1/0.5$$

$$M_w = \text{Log}_{10}(10,000) - 1.1/0.5$$

$$M_w = \text{Log}_{10} (2.9) /0.5$$

$$M_w = 5.8$$

Este estudio se enfoca en calcular la magnitud momento a partir del desplazamiento de falla, en el caso de la falla Cofradía presenta un desplazamiento de 0.5 m a 1 m, para posible evento sísmico con epicentro en esta zona de falla alcanzaría una magnitud aproximada de $M_w = 5.8$.

A manera de resumen se realizó la siguiente tabla para facilitar la comprensión de los resultados obtenidos a través de los cálculos de Magnitud momento (M_w) para cada una de las fallas principales de Managua. (**Tabla 5**).

Tabla 5: Parámetros de las principales fallas de Managua y Magnitudes sísmicas de posibles eventos con epicentro en cada una de las fallas.

Fallas Principales	Ubicación	Tipo de falla	Longitud	Ancho	Escarpe	Desplazamiento	Magnitud momento (Mw)
Falla Mateares	Al oeste de las sierras de Managua	Falla Normal oblicua, con componente lateral derecha, bloque hundido hacia el N-E	50 km	~ 25 km	~ 300 m a 500 m	~ 2.5 m	~ 7.1 (Mw)
Falla Nejapa	Localizado en la porción Oeste del Graben de Managua	Falla Normal con componente lateral derecha	20 km Longitud Proyectada	~ 10 km	~ 80 m	~ 1 m	~ 6.4 (Mw)
Falla San Judas	Al este a lo largo del margen occidental del graben de Managua	Falla Normal bloque hundido hacia el E, se desconoce si tiene sentido de movimiento lateral.	20 km	~ 10 km	~ 15 m	~ 1 m	~ 6.4 (Mw)
Falla Estadio	Parte occidental del graben de Managua	Falla normal descrita como un sistema de fallas conformadas. Lateral izquierda	10 km en tierra-probable 10km en el lago de Managua.	~ 5 km	~ 1 m	~ 0.5 m	~ 6 (Mw)
Falla Tiscapa	Parte occidental del graben de Managua	Falla normal con desplazamiento Lateral izquierda	20 km en tierra - 20 km en el lago de Managua.	~ 10 km	~ 1 m	~ 1 m	~ 6.4 (Mw)
Falla Aeropuerto	Parte este de Managua, limita la parte w del graben el aeropuerto	Falla normal oblicua con componente Lateral derecha, bloque hundido hacia el E.	10 km	~ 5 km	~ 10 a 12 m	~ 0.5 m	~ 5.8 (Mw)
Falla Cofradía	Parte occidental del graben de Managua	Falla Normal oblicua con componente lateral izquierda. Bloque hundido hacia el W.	10 km	~ 5 km	~ 15 m	~ 0.5 m	~ 5.8 (Mw)

10.2 Análisis de datos de Microtremores y cuantificación de parámetros dinámicos.

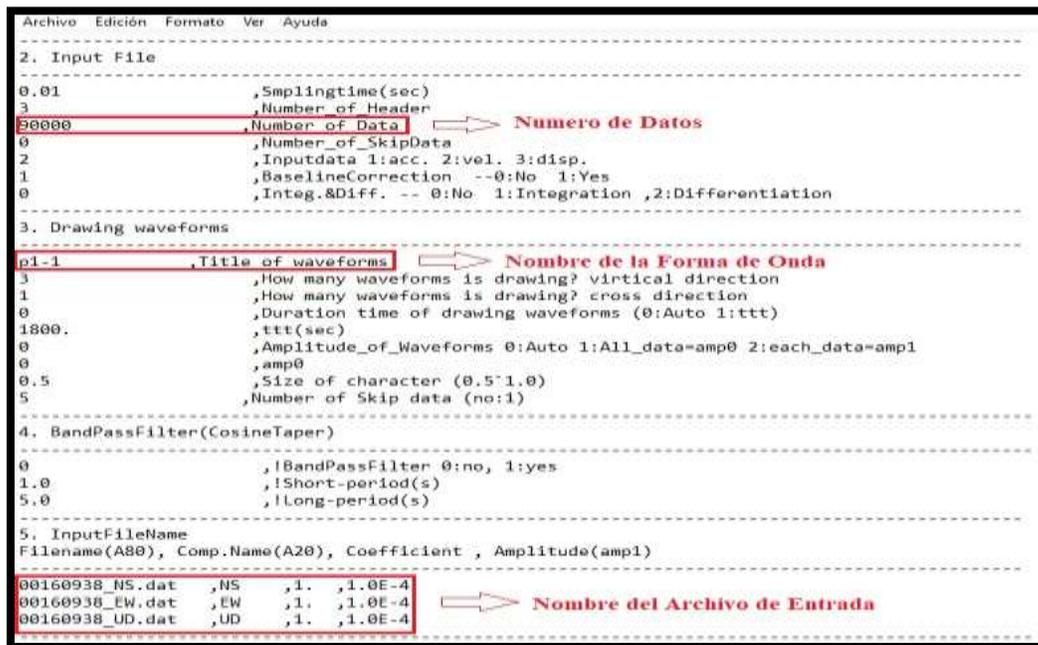
10.2.1 Procesamiento de Registros de Microtremores

Para iniciar el procesamiento de estos datos, tenemos como primer paso la conversión de los registros de microtremores en formato “mtn” a formato “dat”, utilizando el programa mtn2asc_manual.prm elaborado en un compilador Cygwin. Los archivos adquiridos se convierten a “.dat” facilitando la extracción de las componentes tanto verticales como horizontales de los registros obtenidos de microtremores.

10.2.2 Registros de Microtremores

Observamos la forma de onda de los registros obtenidos y seleccionamos los datos que no presenten contaminación por ruido que pudiera afectar la estacionalidad de las señales, esto se realizó con ayuda del programa Wavemic2009v4e.exe, del Dr. Kiminobu Eto, 2004. Para la observación de los registros de la forma de onda, se editaron las características del archivo de texto por cada punto medio dando el nombre de la estación respectiva y añadiendo los datos de la componente N-S-E-W y U-D.

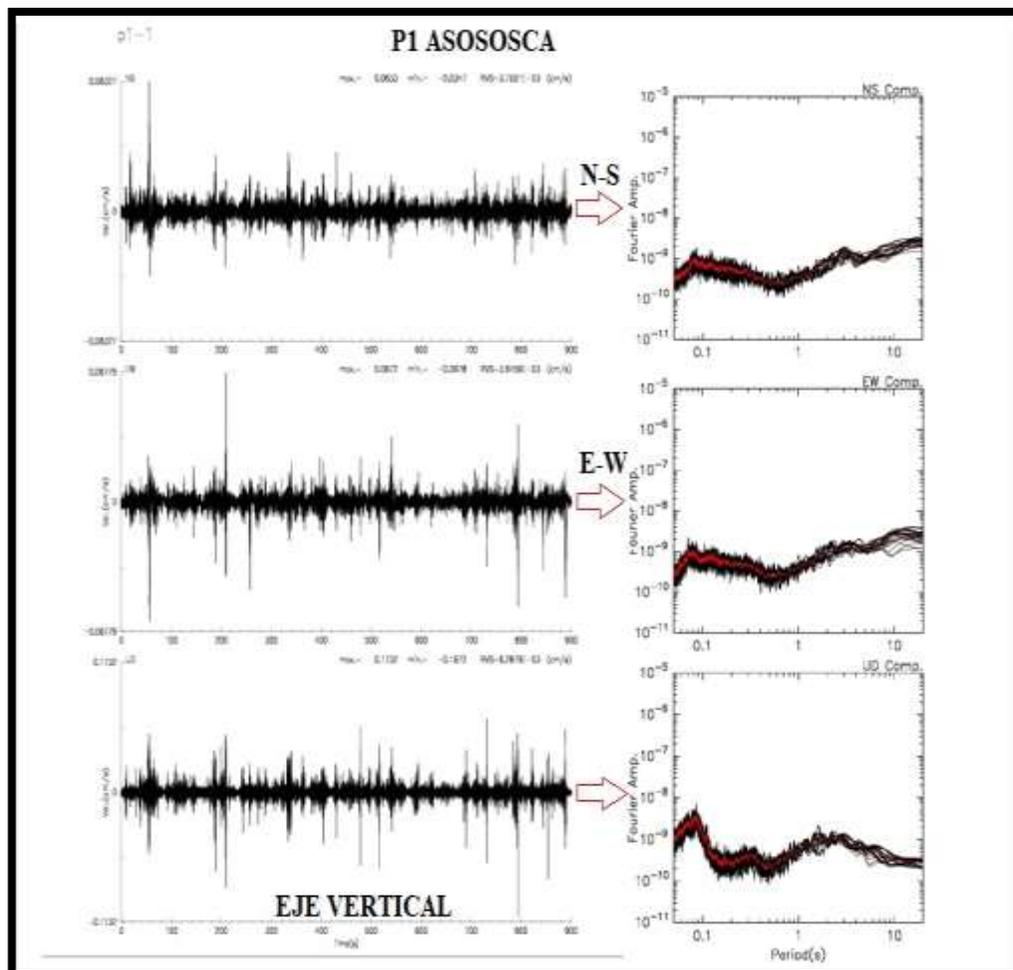
Figura 25. Parámetros de configuración de entrada del programa Wavemic2009v4e.



```
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
-----
2. Input File
-----
0.01          ,Smplngtime(sec)
3            ,Number of Header
30000        ,Number of Data          => Numero de Datos
0           ,Number of SkipData
2           ,Inputdata 1:acc. 2:vel. 3:disp.
1           ,BaselineCorrection --0:No 1:Yes
0           ,Integ.&Diff. -- 0:No 1:Integration ,2:Differentiation
-----
3. Drawing waveforms
-----
p1-1        ,Title of waveforms   => Nombre de la Forma de Onda
3           ,How many waveforms is drawing? vrtical direction
1           ,How many waveforms is drawing? cross direction
0           ,Duration time of drawing waveforms (0:Auto 1:ttt)
1800.       ,ttt(sec)
0           ,Amplitude_of_Waveforms 0:Auto 1:All_data=amp0 2:each_data=amp1
0           ,amp0
0.5         ,Size of character (0.5~1.0)
5           ,Number of Skip data (no:1)
-----
4. BandPassFilter(CosineTaper)
-----
0           ,!BandPassFilter 0:no, 1:yes
1.0         ,!Short-period(s)
5.0         ,!Long-period(s)
-----
5. InputFileName
Filename(A80), Comp.Name(A20), Coefficient , Amplitude(amp1)
-----
00160938_NS.dat ,NS ,1. ,1.0E-4
00160938_EW.dat ,EW ,1. ,1.0E-4
00160938_UD.dat ,UD ,1. ,1.0E-4          => Nombre del Archivo de Entrada
```

Posteriormente después de analizar la forma de onda de cada registro de microtremores, se estimó la transformación de Fourier o espectros de Fourier de las componentes horizontales y verticales del movimiento del suelo, teniendo como resultado curvas espectrales por cada registro de medición basados con la ayuda del programa FouSpcMicGv4.exe (Kiminobu Eto, 2004), en la figura 26 se observa un registro sísmico de microtremores con su correspondiente transformación de Fourier por cada una de las componentes de vibración del suelo.

Figura 26. Registros de vibración ambiental del suelo y transformación de Fourier de las componentes N-S, E W y U-D del punto número 1.

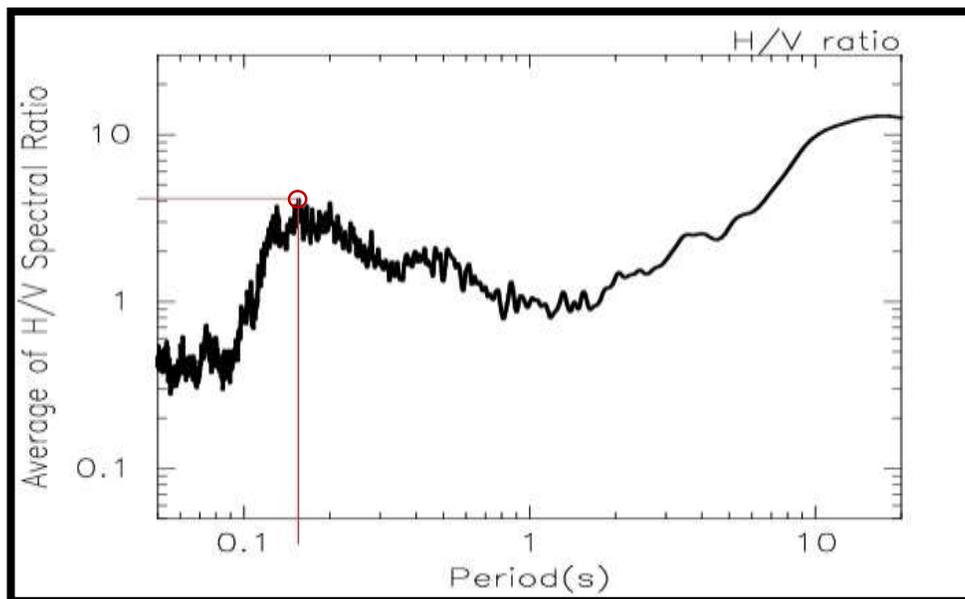


10.2.3. Determinación de la función de transferencia empírica (FTE).

Por último, se calculó la relación espectral de las componentes vertical y horizontal, ejecutando el programa FouSpcMicGv4.exe (Kiminobu Eto, 2004), como resultado final se obtuvieron el valor promedio de las mismas, conforme a Nakamura, es la función de transferencia aproximada al suelo. En la figura 27, se muestran los resultados obtenidos al emplear la técnica de Nakamura para cada uno de los puntos seleccionados, tomando como ejemplo la estación de Asososca (Punto 1).

Para llevar a cabo el análisis de las curvas se tomaron como referencia los valores del (Eje X) que corresponden al periodo de los cuales se seleccionan los picos que sobresalen en cada una de las curvas y en el (Eje Y) que pertenece a la amplitud. Se muestran ejemplo de FTE de cada una de las gráficas realizada por cada zona de estudio en el anexo II.

Figura 27. Ejemplo del promedio de una Función de Transferencia Empírica (FTE) para el punto 1. Zona Asososca.



10.2.4. Análisis de característica dinámicas de los suelos en la zona de estudio

En los puntos recolectados en la zona- Asososca, se analizaron cada una de las curvas obtenida, tomando como referencia los valores del (Eje X) que corresponden al periodo de los cuales se seleccionan los picos que sobresalen en cada una de las curvas, alcanzando un rango entre 0.13 a 0.22. Y en el (Eje Y) que pertenece a la amplitud obteniendo valores que oscilan entre 1.8 a 5 veces. Las frecuencias fundamentales de vibración de los suelos de Asososca están entre los 4.5 a 7.6 Hz. En la tabla 9 se presentan cada uno de los puntos analizados. Se muestran ejemplo de (FTE) de cada una de las gráficas realizada por cada zona de estudio en el anexo II.

Tabla 6: Periodos de vibración en cada uno de los puntos medidos en la zona-Asososca.

Números de Puntos	Fo (Hz)	Ao (Veces)	To (S)	Coordenadas UTM		Observaciones
				Este	Norte	
Zona-Asososca						
P1	5.8	4.1	0.17	575062	1341234	Presenta efecto de sitio
P2	4.5	3.5	0.22	575008	1341075	Presenta efecto de sitio
P3	4.5	5	0.22	574937	1341020	Presenta efecto de sitio
P4	7.1	2	0.14	574822	1341094	Presenta efecto de sitio
P5	4.5	3	0.22	574983	1340948	Presenta efecto de sitio
P6	5.2	1.8	0.19	574895	1340755	Presenta efecto de sitio
P7	5.5	2.2	0.18	574796	1340497	Presenta efecto de sitio
P8	5.8	2.9	0.17	574775	1340289	Presenta efecto de sitio
P9	6.6	3	0.15	574727	1340225	Presenta efecto de sitio
P10	5.5	4.5	0.18	574682	1340145	Presenta efecto de sitio
P11	7.6	2.9	0.13	574717	1340294	Presenta efecto de sitio
P12	5.8	3.7	0.17	574756	1340277	Presenta efecto de sitio

En los puntos recolectados en la zona- Aeropuerto, se analizaron cada una de las curvas obtenida, tomando como referencia los valores del (Eje X) que corresponden al periodo de los cuales se seleccionan los picos que sobresalen en cada una de las curvas, alcanzando un rango entre 0.06 a 0.69. Y en el (Eje Y) que pertenece la amplitud obteniendo valores que oscilan entre 2.5 a 6 veces. Las frecuencias fundamentales de vibración de los suelos de área del Aeropuerto están entre los 1.4 a 16.6 Hz. En la tabla 9 se presentan cada uno de los puntos analizados. Se muestran ejemplo de (FTE) de cada una de las gráficas realizada por cada zona de estudio en el anexo II.

Tabla 7: Periodo de vibración en cada uno de los puntos medidos en la zona-Aeropuerto.

Números de Puntos	Fo (Hz)	Ao (Veces)	To (S)	Coordenadas UTM		Observaciones
				Este	Norte	
Zona- Aeropuerto						
P28	16.6	2.5	0.06	588398	1341892	Presenta efecto de sitio
P29	2.2	3.5	0.44	588549	1341740	Presenta efecto de sitio
P30	1.4	4.3	0.69	588786	1341658	Presenta efecto de sitio
P31	6.6	3	0.15	588937	1341576	Presenta efecto de sitio
P32	7.1	3	0.14	588832	1341411	Presenta efecto de sitio
P33	2.2	1.9	0.45	589043	1341510	Presenta efecto de sitio
P34	10	2.8	0.1	589145	1341438	Presenta efecto de sitio
P35	6.6	6	0.15	589648	1341396	Presenta efecto de sitio

En los datos recolectados en puntos aleatorios de Managua, se analizaron cada una de las curvas obtenidas, tomando como referencia los valores del (Eje X) que corresponden al periodo de los cuales se seleccionan los picos que sobresalen en cada una de las curvas, alcanzando un de rango 0.006 a 0.09 seg. Y en el (Eje Y) que pertenece la amplitud los valores oscilan de 3.2 a 6.9 veces. Las frecuencias fundamentales de vibración a lo largo del área de Managua están entre los 58.8 a 166.6 Hrzs. La tabla 10 se presenta cada uno de los puntos analizados. Se muestran ejemplo de (FTE) de cada una de las gráficas realizada por cada zona de estudio en el anexo II.

Tabla 8: Periodo de vibración en cada uno de los puntos Aleatorios de Managua.

Números de Puntos	Fo (Hrzs)	Ao (Veces)	To (S)	Coordenadas UTM		Observaciones
				Este	Norte	
Puntos Aleatorios -Managua						
P36	5.8	3.2	0.17	580992	1343737	Presenta efecto de sitio
P37	3.7	6	0.27	579716	1342903	Presenta efecto de sitio
P38	6.6	6.9	0.15	579608	1341683	Presenta efecto de sitio
P39	6.2	6	0.16	580562	1341025	Presenta efecto de sitio
P40	7.1	5	0.14	581512	1341444	Presenta efecto de sitio
P41	10	5.2	0.10	582469	1343831	Presenta efecto de sitio
P42	7.1	4.4	0.14	582507	1341971	Presenta efecto de sitio
P43	7.6	4	0.13	583447	1342977	Presenta efecto de sitio
P44	9	3.9	0.11	584351	1342303	Presenta efecto de sitio
P45	1.2	4	0.83	584820	1343614	Presenta efecto de sitio
P46	1.7	4.9	0.56	585457	1341070	Presenta efecto de sitio
P47	5.5	4.9	0.18	591198	1339025	Presenta efecto de sitio
P48	3.8	4.9	0.26	588397	1341891	Presenta efecto de sitio

En los puntos recolectados en la zona- UNAN-Managua, se analizaron cada una de las curvas obtenida, tomando como referencia los valores del (Eje X) que corresponden al periodo de los cuales se seleccionan los picos que sobresalen en cada una de las curvas, alcanzando un rango de 0.49 a 0.15 seg. Y en el (Eje Y) que pertenece la amplitud están por encima de 2 a 6 veces. Las frecuencias fundamentales de vibración de estos suelos oscilan entre los 6.6 a 2 Hrzs. En la tabla 8 se presentan cada uno de los puntos analizados. Se muestran ejemplo de FTE de cada una de las gráficas realizada por cada zona de estudio en el anexo II.

Tabla 9: Periodo de vibración en cada uno de los puntos medidos en la zona-UNAN-Managua.

Números de Puntos	Fo (Hrz)	Ao (Veces)	To (S)	Coordenadas UTM		Observaciones
				Este	Norte	
Zona- UNAN_Managua						
P13	3.4	2.9	0.29	579431	1338212	Presenta efecto de sitio
P14	2.8	5	0.35	579214	1338182	Presenta efecto de sitio
P15	5.5	4	0.18	579222	1338306	Presenta efecto de sitio
p16	6.6	5.9	0.15	579610	1338250	Presenta efecto de sitio
P17	2.6	5.4	0.38	579254	1338355	Presenta efecto de sitio
P18	4	5	0.25	579538	1338353	Presenta efecto de sitio
P19	3.5	4.3	0.28	579512	1338409	Presenta efecto de sitio
P20	2.8	3.9	0.35	579453	1338455	Presenta efecto de sitio
P21	3.3	4.9	0.3	579587	1338484	Presenta efecto de sitio
P22	3.3	4.9	0.3	579288	1338914	Presenta efecto de sitio
P23	2	5	0.49	579246	1339056	Presenta efecto de sitio
P24	3.1	2	0.32	579012	1338355	Presenta efecto de sitio
P25	3.3	5.8	0.3	579097	1338530	Presenta efecto de sitio
P26	3	6	0.33	579000	1338808	Presenta efecto de sitio
P27	3.5	6	0.28	587975	1342060	Presenta efecto de sitio

10.3 Estimación Modelos de Velocidad Vs y Vp en la Ciudad de Managua.

En cada una de las zonas de estudio se tomaron 1 punto de referencia para determinar el perfil de velocidad del subsuelo del cual se extrae información de los espesores de capas, como densidades, profundidades y velocidades de ondas sísmica P (V_p) y S (V_s).

Para la estimación de los modelos de velocidad de los puntos seleccionados en cada una de las zonas, se utilizó con el programa RayHVSH (Kiminobu Eto, 2004). Esta genera una curva teórica de la función de transferencia Empírica (FTE) que se estima en base a los parámetros iniciales del modelo, este se compara con una curva FTE que es calculada para el punto de medición determinado. En la modelación del subsuelo se trata de obtener una aproximación al periodo dominante en este caso al pico más alto de la curva teórica estimada en relación a la función de transferencia Empírica. Para el ajuste de la curva se modificaron algunos de los parámetros hasta tener el más aproximado a los picos predominantes de esta con el de la curva FTE obtenida en campo.

En la figura 28, muestra en color rojo el modelo teórico FTE y de color negro, azul y verde la curva calculada FTE del punto (27_ UNAN-Managua). También se muestra una tabla de valores con los parámetros del modelo (profundidad V_s , V_p , espesor y densidad); al igual para la figura 30, que corresponde a la Zona de Asososca y la figura 32 a la zona Aeropuerto.

Figura 28. Modelo estratigráfico teórico del punto de medición 27 zona UNAN-Managua

Modelo estratigráfico teórico del punto de medición 27 el cual corresponde a la zona UNAN-Managua entre periodos dominante entre 0.1 a 0.4 segundos, con una profundidad de 2,302.50 metros. A) Modelo teórico (FTE) de color rojo y la curva calcula de la FTE de color verde, negro y azul. B. parámetros dinámicos del modelo del suelo. C. Modelo de velocidad de la onda Vs y Vp. D. Modelo de velocidad de la onda de corta Vs.

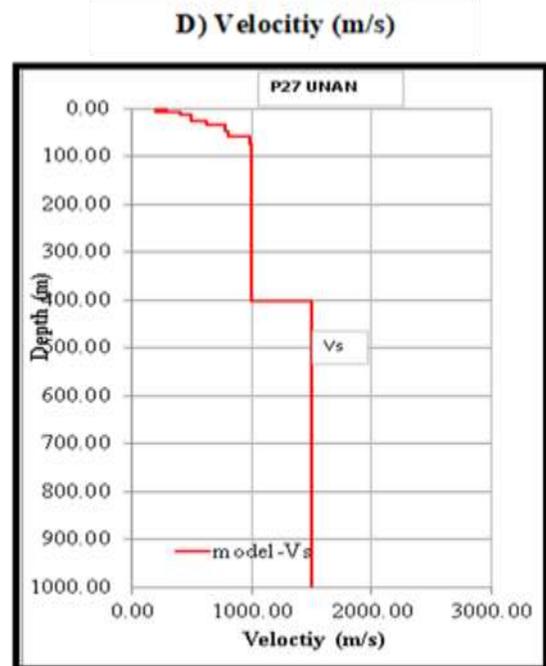
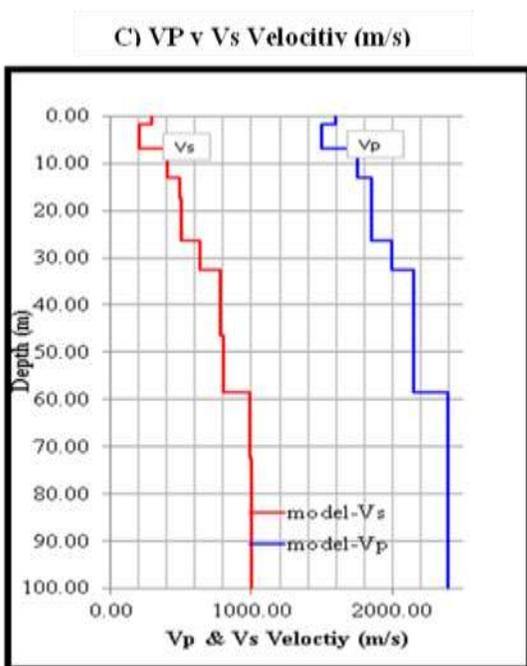
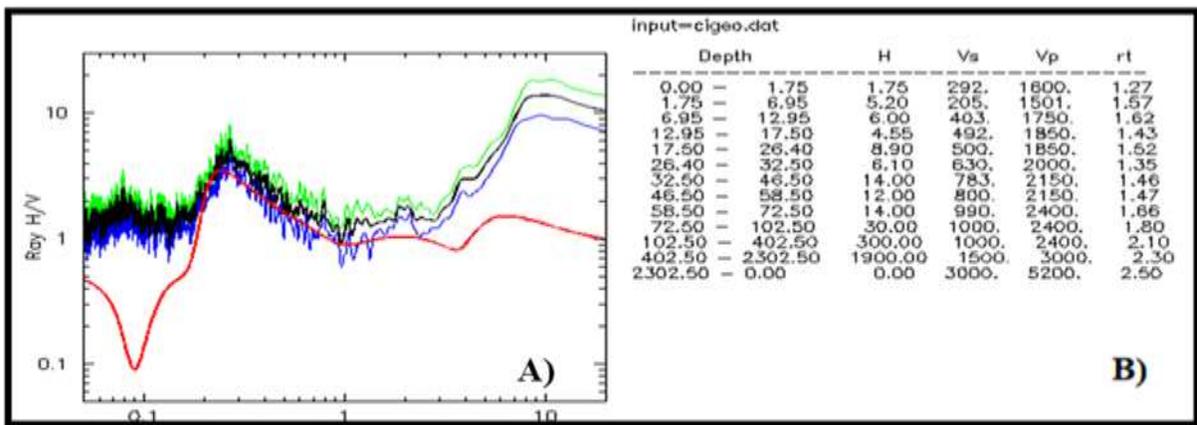


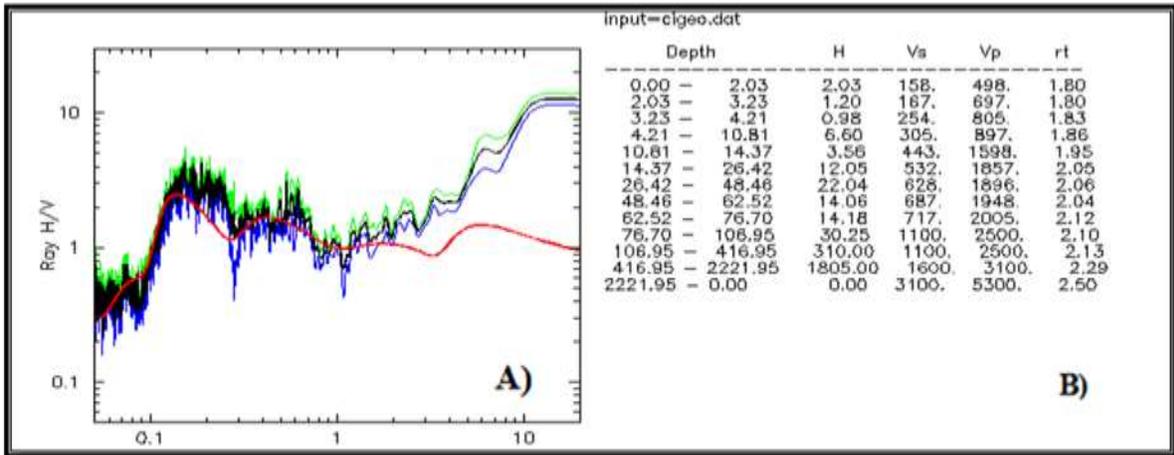
Figura 29. Perfil del subsuelo del punto de medición 27, zona de la UNAN-Managua.

Profundidades (m)	Espesor	Columna Litológica	Clasificación por el Reglamento Nacional de la Construcción RNC-07	Interpretación Geológica
6.95	6.95		Suelo moderadamente blando Vs 205–292 m/s	Depósitos volcánicos intercalados con suelo fósil no consolidados
32.5	28.5		Suelo firme Vs 403-630 m/s	Depósito volcánico compactado
2302.5	2270		Afloramiento Rocoso Vs 783-1500 m/s	Roca volcánica

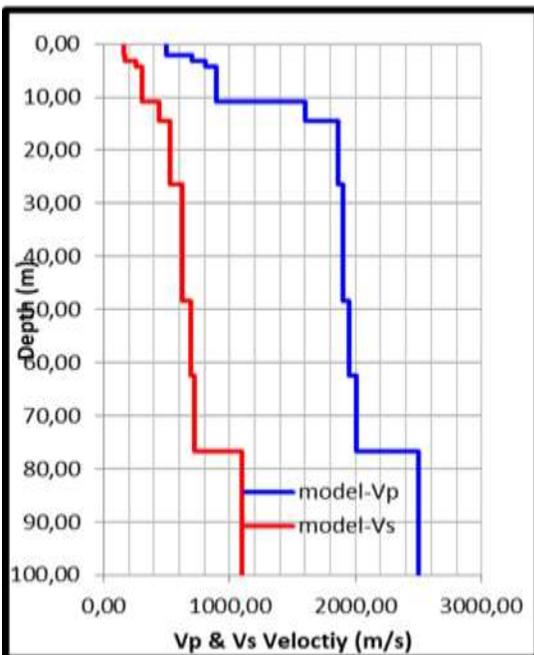
En la figura 29 se presenta el resultado estructural de Vs del modelo, con una profundidad máxima de 2,302.5 m y las velocidades mínimas y máximas con un rango de 205-1,500 m/s. la primera capa tiene Vs de 205-292 m/s y un espesor de 6.95 m y en relación con el valor de la velocidad esta capa clasificada de acuerdo al Reglamento Nacional de la Construcción RCN-07, como suelo moderadamente blando interpretado geológicamente como depósitos volcánicos intercalado con suelos fósil no consolidados, la segunda capa presenta un Vs de 403-630 m/s y un espesor de 28.5 m, clasificado como suelo firme e interpretado como depósito volcánico compacto. La tercera capa Vs de 783- 1,500 m/s y un espesor de 2,270 m, clasificado como afloramiento rocoso e interpretado como roca volcánica.

Figura 30. Modelo estratigráfico teórico del punto de medición 1, zona Asososca

Modelo estratigráfico teórico del punto de medición 1 el cual corresponde a la zona Asososca entre periodos dominante entre 0.1 a 0.2 segundos, con una profundidad de 2221.95 metros. A) Modelo teórico (FTE) de color rojo y la curva calcula de la FTE de color verde, negro y azul. B. parámetros dinámicos del modelo del suelo. C. Modelo de velocidad de la onda Vs y Vp. D. Modelo de velocidad de la onda de corta Vs.



C) VP v Vs Velocitivy (m/s)



D) Velocitivy (m/s)

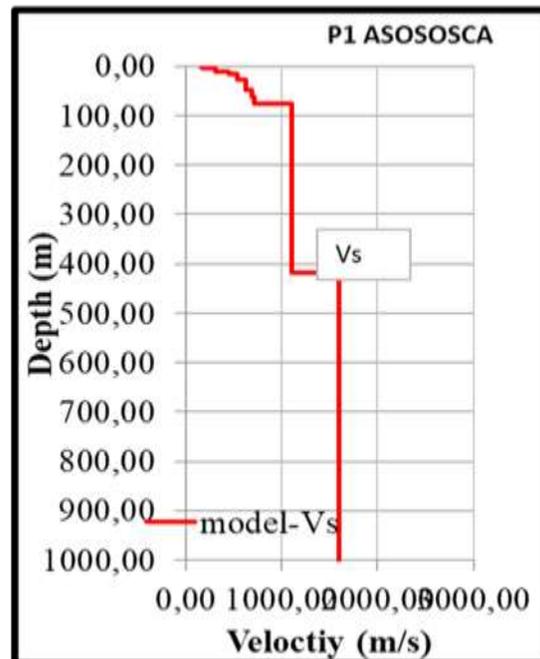


Figura 31. Perfil del subsuelo del punto de medición 1, zona de la Asososca.

Profundidades (m)	Espesor	Columna Litológica	Clasificación por el Reglamento Nacional de la Construcción RNC-07	Interpretación Geológica
<p>10.81</p> <p>76.70</p> <p>2221.95</p>	<p>10.81</p> <p>65.89</p> <p>2145.2</p>		<p>Suelo moderadamente blando Vs 158–254 m/s</p> <p>Suelo firme Vs 443-717 m/s</p> <p>Afloramiento Rocoso Vs 1100-3100 m/s</p>	<p>Depósitos volcánicos intercalados con suelo fósil no consolidados</p> <p>Depósito volcánico compactado</p> <p>Roca volcánica</p>

En la figura 31 se presenta el resultado estructural de vs del modelo, donde la profundidad máxima es aproximada de 2,221.9 m y el rango de velocidades es alrededor de 158-3,100 m/s. La primera capa del modelo tiene un espesor de 10.81 m y un Vs cercano a 254 m/s, esta capa puede ser interpretada como suelo moderno reciente (compuesto principalmente de arena y arcilla). La segunda capa presenta un Vs cercano a 717 m/s, una profundidad de 76.70 m y un espesor de 65.89 m; dicha capa se puede interpretar como depósitos volcánicos no consolidados. La capa más profunda del modelo alcanza los 2,221.9 m y posee un espesor de 2,145.25 m; y con Vs de hasta 3,100 m/s en su máximo, puede ser clasificado como suelo firme con depósitos volcánicos compactos.

Figura 32. Modelo estratigráfico teórico del punto de medición 29, zona Aeropuerto

Modelo estratigráfico teórico del punto de medición 1 el cual corresponde a la zona Aeropuerto entre periodos dominante entre 0.1 a 0.6 segundos, con una profundidad de 2472.55 metros. A) Modelo teórico (FTE) de color rojo y la curva calcula de la FTE de color verde, negro y azul. B). parámetros dinámicos del modelo del suelo. C. Modelo de velocidad de la onda Vs y Vp. D. Modelo de velocidad de la onda de corta Vs.

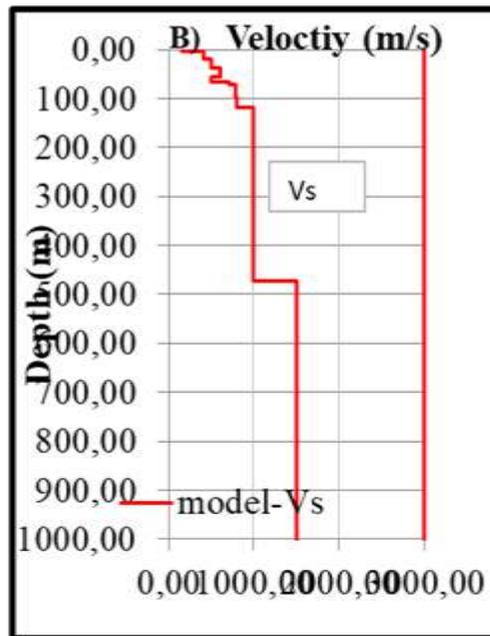
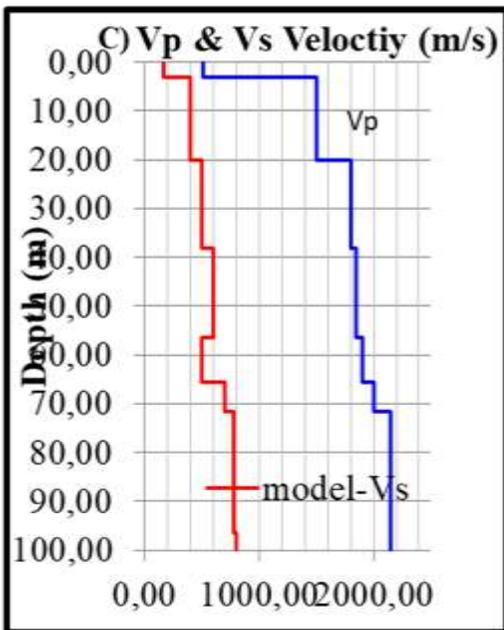
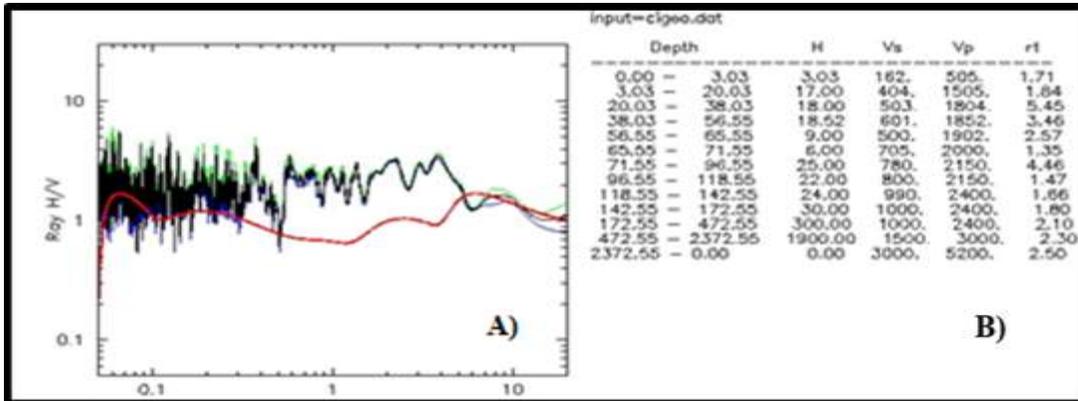
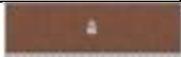


Figura 33. Perfil del subsuelo del punto de medición 29, zona de Aeropuerto

Profundidades (m)	Espesor	Columna Litológica	Clasificación por el Reglamento Nacional de la Construcción RNC-07	Interpretación Geológica
3.03	3.03		Suelo muy blando Vs 162 m/s	Suelo moderno reciente
96.55	68.52		Suelo firme Vs 404-705 m/s	Depósito volcánico compactado
2372.55	2301		Afloramiento Rocoso Vs 780-3000 m/s	Roca volcánica

En la figura 33 se presenta el resultado estructural de Vs del modelo, con una profundidad máxima de 2,372.55 m y las velocidades mínimas y máximas con un rango de 162 a 3,000 m/s. La primera capa tiene Vs de 162 m/s y un espesor de 10.81 m y en relación con el valor de la velocidad esta capa es clasificada de acuerdo al Reglamento Nacional de la Construcción RCN-07 como suelo muy blando interpretado geológicamente como suelo moderno reciente. La segunda capa presenta un Vs de 404 a 705 m/s y un espesor de 65.89 m, clasificado como suelo firme e interpretado como Depósito volcánico compacto. La tercera capa presenta un Vs de 780 a 3,000 m/s y un espesor de 2,145.25 m, clasificado como Afloramiento rocoso e interpretado como Roca volcánica.

10.4 Discusión

Para calcular la magnitud de cada una de las principales fallas de Managua, se tomaron los desplazamientos de estudios previos (ver tabla 1), como resultados obtuvimos cálculos de magnitud momento (Mw) para sismo de 5.8 y 6.4Mw, a diferencia de la falla mateares con una longitud superior a las demás fallas de 7.1Mw. Llegando a la conclusión que las fallas más grandes pueden generar sismos de mayor magnitud, lo cual es proporcional a las dimensiones del plano de ruptura. Se utilizó la ecuación de Hank y Kanamori (1979), esta magnitud es la más robusta; otra ventaja que tiene la escala de Mw es que no se satura, por lo que hoy en día es la más confiable y la más usada para la detección de sismos. Es importante realizar estudios en base a esta escala Mw, a lo largo del margen del pacifico, porque aún quedan otras ciudades altamente pobladas en nuestro país sin ser monitoreadas.

Una de las dificultades que se nos presentó, fue que no se encontró registro del desplazamiento de la falla Mateares, por lo que se procedió a despejar la ecuación de Longitud de falla (L), para obtener un desplazamiento aproximado.

Las estimaciones obtenidas de Mw para la falla Nejapa-Miraflores, falla Tiscapa, falla Aeropuerto y falla Cofradía, son semejante a los valores obtenidos en el estudio (simulación de la amenaza sísmica producida por las principales fallas de la ciudad de Managua, 2013). Para la estimación de la falla Mateares se asemeja con el valor obtenido en el estudio (Estudio de las condiciones geológicas y sísmicas en la zona de la falla Mateares, Margen Oeste del Graben de Managua, Nicaragua 2020).

Analizando los resultados obtenidos en el presente estudio no son concluyentes, sin embargo dichas estimaciones son determinantes para la toma de decisiones con la finalidad de prevenir y mitigar ante el impacto de los sismos.

En este trabajo se presenta la estimación de modelos de velocidad Vs y Vp, según Nakamura (1989), el método del cociente espectral permite obtener la función de transferencia completa del suelo. De esta manera logra generar un modelo estratigráfico teórico, en cada una de las zonas estudiadas.

Para la zona UNAN-MANAGUA, se estimó un modelo de velocidad de onda Vs y Vp, tomando el punto 27, el cual se clasificó por el Reglamento Nacional de la Construcción RNC-07 a su vez se logró interpretar geológicamente. Nuestros resultados coinciden con los modelos de los puntos 24, 28 y 93 del estudio “Estimación de modelo de velocidad de onda de cizalla (Vs) y parámetros dinámicos de los suelos en la ciudad de Managua, Nicaragua en el periodo del 2018 al 2020”, para el punto 24 con un espesor de 28.00 y una profundidad de 57.10 m y para el punto 16 con un espesor de 38.80 y una profundidad de 59.45 en el punto 28 con un espesor de 30.22, presentan características similares, entre los espesores que van de 0 a 40 m, el modelo del punto 27, incrementa un espesor de 2,000 m la profundidad de 2,300 m y constituido por roca volcánica.

Para la Zona Asososca, se estimó un modelo de velocidad de onda Vs y Vp, tomando el punto 1, el cual se clasificó por el Reglamento Nacional de la Construcción RNC-07 a su vez se logró interpretar geológicamente. Nuestros resultados coinciden con el modelo del punto 44 del estudio “Estimación de modelo de velocidad de onda de cizalla (Vs) y parámetros dinámicos de los suelos en la ciudad de Managua, Nicaragua en el periodo del 2018 al 2020”, para el punto 44 con un espesor de 0 a 51.5 m y una profundidad de 0 a 62.20 m, presentan características similares, entre los espesores que van de 0 a 65.89 m, el modelo del punto 1, incrementa un espesor hasta los 2,221.95 m, se percibe un incremento en las velocidades a diferencia de la Zona UNAN-MANAGUA, se toma en cuenta la litología puesto que esta zona está constituido por flujos de lava.

Para la zona Aeropuerto, se estimó un modelo de velocidad de onda Vs y Vp, tomando el punto 29. El cual se clasificó por el Reglamento Nacional de la Construcción RNC-07 a su vez se logró interpretar geológicamente. Nuestros resultados coinciden con el modelo del punto 33, del estudio “Estimación de modelo de velocidad de onda de cizalla (Vs) y parámetros dinámicos de los suelos en la ciudad de Managua, Nicaragua en el periodo del 2018 al 2020”, para el punto 33 con un espesor de 0 a 46.45 m y una profundidad de 0 a 50 m, presentan características similares, entre los espesores que van de 0 a 50 m, el modelo para el punto 29 incrementa un espesor total de 2,301 m la profundidad hasta los 2,372.55 m constituido por roca volcánica.

11. CONCLUSIONES

La zona de estudio ha sido afectada por muchos sismos entre los que se destacan el terremoto de 1931 y el terremoto de 1972. La existencia de fallas que cruzan paralelamente el centro de la ciudad de Managua con potenciales sísmicos Mw 6,1 justifica el presente estudio como un elemento básico en la toma de decisiones en la organización territorial de la ciudad.

- Se calculó la magnitud de cada una de las principales fallas de Managua, a partir de sus desplazamientos, como resultados obtuvimos cálculos de magnitud momento (Mw) para sismo de 5.8 y 6.4 Mw, a diferencia de la falla mateares con una longitud superior a las demás fallas de 7.1Mw. Llegando a la conclusión que las fallas más grandes pueden generar sismos de mayor magnitud, lo cual es proporcional a las dimensiones del plano de ruptura.
- En el análisis de los datos de microtemores y Cuantificación de parámetros dinámicos mediante la técnica Nakamura distribuidos la ciudad de Managua, encontramos que las frecuencias de vibración de los suelos de la zona de Asososca están entre 4.5 a 7.6 Hrzs, en la zona de Aeropuerto se encontró vibraciones con frecuencias entre 1.4 a 16.6 Hrzs y en puntos aleatorios de la ciudad de Managua se encontraron frecuencias de vibración entre 1.2 a 10 Hrzs, en la zona UNAN se encontraron frecuencias de vibraciones entre 6.6 y 2 Hz. Obtuvimos los periodos y amplitudes de 48 puntos en total, de los cuales 12 pertenecen Asososca con intervalos 0.13s a 0.22s y amplitudes de 1.8 a 4.5 veces, para el área del Aeropuerto calcularon 8 puntos con intervalos de 0.06s a 0.69s con amplitudes de 1.9 a 6 veces, para los puntos aleatorios de Managua se obtuvieron 13 valores de 0.11s a 0.83s con amplitudes de 3.2 a 6.9 veces, para la UNAN-Managua se tomaron 15, con periodos con rango de 0.15s a 0.49s y amplitudes de 2 a 6 veces, demostrando con estos resultados que todas las zonas estudiadas presentan efecto de sitio ante la presencia de un sismo de considerable magnitud.
- Al estimar el modelo de velocidad de la onda de corte Vs a partir de un registro de microtemores en cada una de las Zonas en estudio, nos generó tres columnas litológicas de tres unidades, con sus respectivas profundidades y espesores. En la zona Asososca la primera capa tiene una profundidad de 0 a 10.81 m, caracterizada

por depósitos volcánicos intercalados con suelo fósil no consolidado, segunda capa de 10.81 m a 65.89 m con depósitos volcánicos y la tercera de 65.89 m a 2,145.25 m, constituido de roca volcánica obteniendo una profundidad total de 2,221.95 m. En la Zona UNAN- Managua, la primera capa con una profundidad de 0 a 7m caracterizada de depósitos volcánicos intercalados con suelo fósil no consolidado, la segunda capa es de 6.95 a 33 m con depósitos volcánicos compactos, el tercer estrato de 33 m a 2000 m de espesor está constituido de roca volcánica. En la zona Aeropuerto se generó una columna litológica de tres unidades, la primera capa con una profundidad de 0 a 3.03 m caracterizado como suelo moderno reciente, la segunda capa de 3.03 m a 68.52 m, con depósitos volcánicos compactos y la tercera capa de 68.52 a 2,301 m, constituido de roca volcánica, con una profundidad total de 0 a 2,372.55 m, concluyendo que las zonas de estudio presentan una litología homogénea.

12. RECOMENDACIONES

- Se recomienda al recinto universitario UNAN Managua, continuar promoviendo las investigaciones sobre la amenaza sísmica en las distintas zonas de nuestro país, para informar a las instituciones pertinentes y la población en general sobre las características sísmicas de nuestros suelos, para acondicionar las infraestructuras y tomar medidas de prevención y mitigación de desastres.
- Se recomienda a los futuros investigadores utilizar este tipo de metodología para realizar estudios más específicos en diferentes enfoques geológicos.
- Realizar un estudio de zonificación sísmica y caracterización de sitio para cada uno de los distritos de Managua, para así determinar la amenaza sísmica y repuesta de sitio en cada sector.

BIBLIOGRAFÍA

- Altamirano López , G. (1998). *Estudio geológico para detección de fallas, en terreno donde se proyecta la construcción residencias universitarias en Villa Fontana Managua, Nicaragua*. Managua: INETER.
- Altamirano López , G. (2005). *Estudio geológico por fallamiento superficial del terreno propiedad del Hospital Bautista Managua, Nicaragua*. Managua: INETER.
- Álvarez Moraga, E. A., & Ortega González, C. A. (2014). *Caracterización sísmica de sitio en la zona de distrito II de la Ciudad de Managua*. Managua: UNAN-Managua.
DOI: <https://repositorio.unan.edu.ni/6077/1/64680.pdf>
- Beles, A., Ifrim, M., & García, A. (1975). *Elementos de Ingeniería Sísmica*. Barcelona: Omega.
- Bice, D. (1985). *Estratigrafía volcánica Cuaternaria de Managua, Nicaragua: Correlación y asignación de fuentes para múltiples depósitos Plinianos superpuestos*. Sociedad geológica de América.
- B., G. G. (2004). *El Graven de Managua y el complejo Masaya, Las Sierras es pull apart localizada por un intrusivo, resultados de modelamiento analogos localizada por un complejo intrusivo*.
- Consultants, W. Y. (1975). *Investigación de fallamiento activo en Managua y sus alrededores*.
- Cowan. (2002). *Terremoto del Holoceno Tardío en la falla del Aeropuerto, Managua, Nicaragua*.
- Castellón Pérez L. L., Y Silva Berrios G.J. (2017). *Caracterización Geoestructural Del Sector Sur Del Distrito III, Municipio de Managua*.
- Centro de Investigaciones Geocientíficas. CIGEO/UNAN, Managua (2008). *Estudio de Evolución de la Peligrosidad y Vulnerabilidad Sísmica-Estructura del Estadio Nacional de Béisbol Denis Martínez, Nicaragua*.
- Frischbutter. (2002). *Estructura del Graben de Managua, Nicaragua, a partir de imágenes de teledetección*.
- Hodgson G. (2000). *Geología Regional de Nicaragua (Léxico de Nicaragua)*.
- Hodgson Valrey, G. (1990). *Estudio geologico y zonificacion sismica del terreno propuesto- Construcción Catedral de Managua*. Managua: INETER.

- IGG-CIGEO/UNAN-Managua. (2008). *Estudio de Evaluación de la Peligrosidad y Vulnerabilidad Sísmica-Estructural del Estadio Nacional de Beisbol (Denis Martínez)*. Managua: IGG-CIGEO/UNAN-Managua.
- INETER. (2000). *Microzonificación sísmica de Managua*. Managua: INETER.
- INETER (2005). *Microzonificación Sísmica de Managua*.
DOI:<https://webserver2.ineter.gob.ni/geofisica/sis/proyectos/micromana/3-geologia-resx.htm>
- INETER (2002). *Actualización del Mapa de Fallamiento geológicas de Managua*.
DOI:<https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/09/fallas-geologicas-managua.pdf>
- Martinez Bermudez, W. (2001). *Estudio geológico de Riesgo sísmico en terreno donde se proyectaba construir el laboratorio del CIGEO/UNAN, Managua*. Managua: CIGEO/UNAN-Managua.
- J., G. R. (2013). *Simulación de la amenaza sísmica producido por las principales fallas de Managua*. Managua: UNAN-Managua. **DOI:** <https://repositorio.unan.edu.ni/304/1/45069.pdf>
- Martínez González, M. Y. (2012). *Análisis morfoestructural del Graben de Managua y sus alrededores*. Managua: UNAN-Managua.
DOI:<https://repositorio.unan.edu.ni/237/1/94037.pdf>
- Montano Gonzalez. C. L. (2012). *Caracterización Geológica y Efecto de sitio en el Graben Aeropuerto, Managua*. **DOI:** <https://repositorio.unan.edu.ni/5322/1/94026.pdf>
- Martínez González, M. Y. (2012). *Análisis morfoestructural del Graben de Managua y sus alrededores*. Managua: UNAN-Managua.
- Mejia Moreno. B., y Calero Davila. J. (2019). *Caracterizacion de las codiciones geologicas y sismicas en la parte N y SW del Recinto Universitario Ruben Dario, (RURD, UNAN-MANAGUA)*.**DOI:** <https://repositorio.unan.edu.ni/10615/1/99518.pdf>
- Olivares Hernández, L. A., & Quintana Mendoza, O. V. (2014). *Análisis lineal equivalente de la respuesta sísmica de sitio en los recintos Rubén Darío, Managua, FAREM-Chontales y FAREM-Carazo, de la UNANManagua*. Managua: UNAN-Managua.
DOI: <https://repositorio.unan.edu.ni/5509/1/15806.pdf>
- Páiz Hernández, E. J., & Bendaña Salinas, R. A. (2015). *Análisis de amenaza sísmica y respuesta de sitio considerando el potencial del fallamiento superficial en el Campus del Recinto*

Universitario “Rubén Darío” (RURD) de la UNAN-Managua. Managua: UNAN-Managua.

DOI: <https://repositorio.unan.edu.ni/1275/1/73187.pdf>

Robles Mendoza, A., Y Jimenes Velásquez, J. (2017). *Metodología para realizar estudios de micronificación sísmica.*

DOI: https://www1.cenapred.unam.mx/COORDINACION_ADMINISTRATIVA/SRM/FRACCION_XLI_A/50.pdf

Rodríguez Cabrera, A. R. (2013). *Caracterización geofísica del suelo profundo mediante la técnica Remi, en el área Metropolitana del Norte del Estado Anzoátegui.*

Segura, F. (2007). *Sismicidad de Nicaragua, Managua*

DOI: <https://es.scribd.com/doc/284350613/Sismicidad-Nicaragua-2007>

Sauter, F. (1989). *Fundamentos de ingeniería sísmica I: Introducción a la sismología. Cartago: Editorial Tecnológica de Costa Rica.*

DOI: 264159566-Introduccion-a-La-Sismologia-Franz-Sauter-1

Sevilla Cano, S. E. (2008). *Caracterización de sitio para la instalación de un arreglo vertical de monitoreo sísmico en la UNAN – Managua. Managua: UNAN-Managua.*

DOI: <https://repositorio.unan.edu.ni/4987/1/79130.pdf>

Velásquez Espinoza, G., Y Garnica Peña, R. J. (2015). *La zonificación morfotectónica-volcánica en el análisis morfoestructural del relieve: el caso del municipio de Managua, Nicaragua.*

Woodward y Clyde Consultants., (1975). *Investigación de fallas activas en Managua, Nicaragua y alrededores, Managua, 1975.*

Zambrana, X. (2019). *Peligro Sísmico de la falla geológica Aeropuerto, Margen este de la ciudad de Managua, Nicaragua. Managua: CIGEO-UNAN-Managua.*

DOI: <https://orcid.org/0000-0002-2224-9742>

Zambrana, X. (2020). *Peligro Sísmico por efecto de sitio en el Recinto Universitario Ruben Darío UNAN-Managua. Nicaragua. Managua: UNAN- Managua.*

DOI: <https://doi.org/10.5377/farem.v0i32.9233>

Anexos I

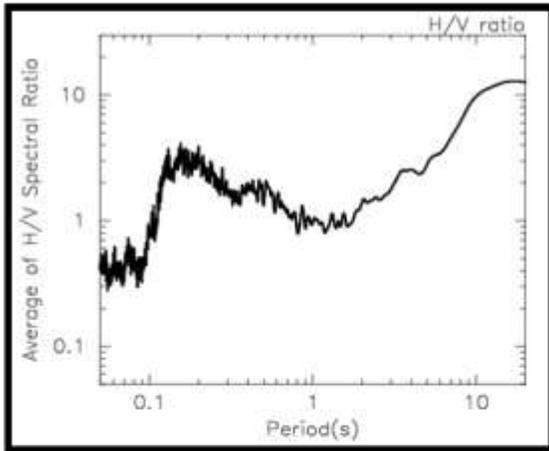
Coordenadas UTM de los puntos de medición de Microtremores en la ciudad de Managua con el Método de Nakamura.

Números de Puntos	Fo (Hz)	Ao (Veces)	To (S)	Coordenadas UTM		Observaciones
				Este	Norte	
Zona-Asososca						
P1	5.8	4.1	0.17	575062	1341234	Presenta efecto de sitio
P2	4.5	3.5	0.22	575008	1341075	Presenta efecto de sitio
P3	4.5	5	0.22	574937	1341020	Presenta efecto de sitio
P4	7.1	2	0.14	574822	1341094	Presenta efecto de sitio
P5	4.5	3	0.22	574983	1340948	Presenta efecto de sitio
P6	5.2	1.8	0.19	574895	1340755	Presenta efecto de sitio
P7	5.5	2.2	0.18	574796	1340497	Presenta efecto de sitio
P8	5.8	2.9	0.17	574775	1340289	Presenta efecto de sitio
P9	6.6	3	0.15	574727	1340225	Presenta efecto de sitio
P10	5.5	4.5	0.18	574682	1340145	Presenta efecto de sitio
P11	7.6	2.9	0.13	574717	1340294	Presenta efecto de sitio
P12	5.8	3.7	0.17	574756	1340277	Presenta efecto de sitio
Zona- UNAN Managua						
P13	3.4	2.9	0.29	579431	1338212	Presenta efecto de sitio
P14	2.8	5	0.35	579214	1338182	Presenta efecto de sitio
P15	5.5	4	0.18	579222	1338306	Presenta efecto de sitio
p16	6.6	5.9	0.15	579610	1338250	Presenta efecto de sitio
P17	2.6	5.4	0.38	579254	1338355	Presenta efecto de sitio
P18	4	5	0.25	579538	1338353	Presenta efecto de sitio
P19	3.5	4.3	0.28	579512	1338409	Presenta efecto de sitio
P20	2.8	3.9	0.35	579453	1338455	Presenta efecto de sitio
P21	3.3	4.9	0.3	579587	1338484	Presenta efecto de sitio
P22	3.3	4.9	0.3	579288	1338914	Presenta efecto de sitio
P23	2	5	0.49	579246	1339056	Presenta efecto de sitio
P24	3.1	2	0.32	579012	1338355	Presenta efecto de sitio
P25	3.3	5.8	0.3	579097	1338530	Presenta efecto de sitio
P26	3	6	0.33	579000	1338808	Presenta efecto de sitio
P27	3.5	6	0.28	587975	1342060	Presenta efecto de sitio
Zona- Aeropuerto						
P28	16.6	2.5	0.06	588398	1341892	Presenta efecto de sitio
P29	2.2	3.5	0.44	588549	1341740	Presenta efecto de sitio
P30	1.4	4.3	0.69	588786	1341658	Presenta efecto de sitio
P31	6.6	3	0.15	588937	1341576	Presenta efecto de sitio
P32	7.1	3	0.14	588832	1341411	Presenta efecto de sitio
P33	2.2	1.9	0.45	589043	1341510	Presenta efecto de sitio
P34	10	2.8	0.1	589145	1341438	Presenta efecto de sitio
P35	6.6	6	0.15	589648	1341396	Presenta efecto de sitio
Punto- Managua						
P36	5.8	3.2	0.17	580992	1343737	Presenta efecto de sitio
P37	3.7	6	0.27	579716	1342903	Presenta efecto de sitio
P38	6.6	6.9	0.15	579608	1341683	Presenta efecto de sitio
P39	6.2	6	0.16	580562	1341025	Presenta efecto de sitio
P40	7.1	5	0.14	581512	1341444	Presenta efecto de sitio
P41	10	5.2	0.10	582469	1343831	Presenta efecto de sitio
P42	7.1	4.4	0.14	582507	1341971	Presenta efecto de sitio
P43	7.6	4	0.13	583447	1342977	Presenta efecto de sitio
P44	9.0	3.9	0.11	584351	1342303	Presenta efecto de sitio
P45	1.2	4	0.83	584820	1343614	Presenta efecto de sitio
P46	1.7	4.9	0.56	585457	1341070	Presenta efecto de sitio
P47	5.5	4.9	0.18	591198	1339025	Presenta efecto de sitio
P48	3.8	4.9	0.26	588397	1341891	Presenta efecto de sitio

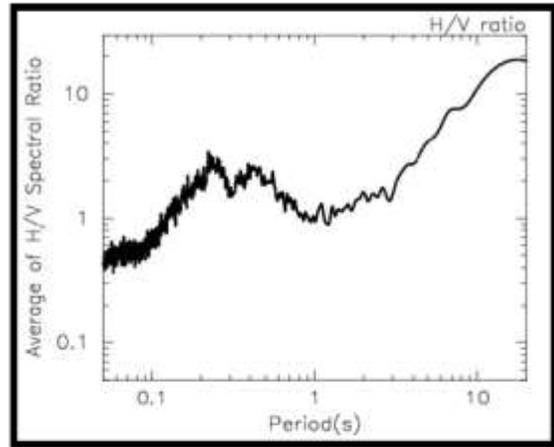
Anexos II

Curvas de Función de Transferencia Empírica H/V.

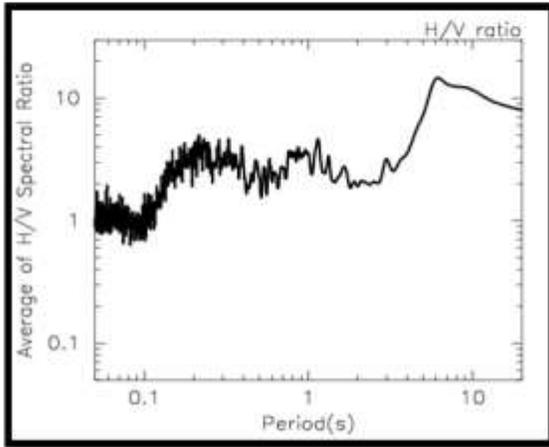
Punto 1



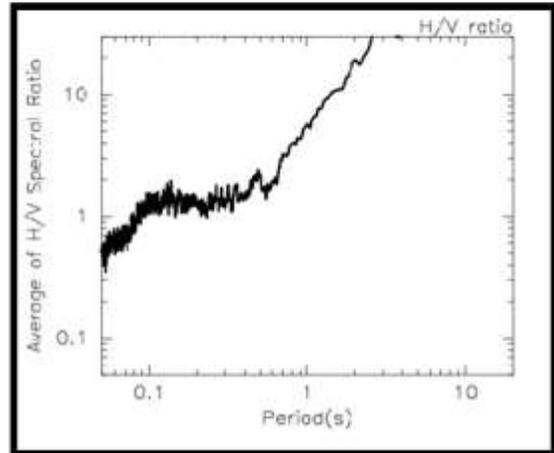
Punto 2



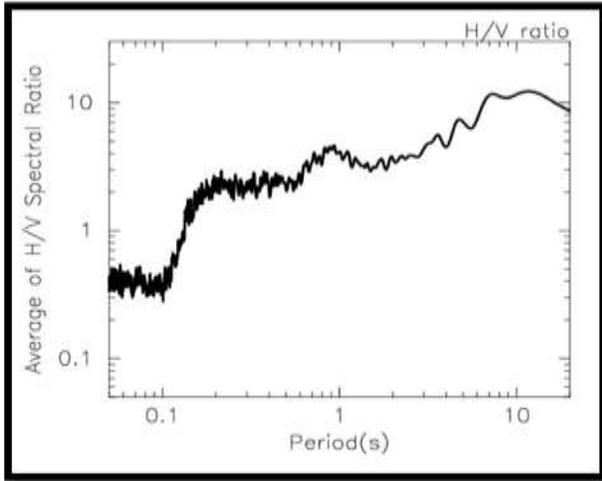
Punto 3



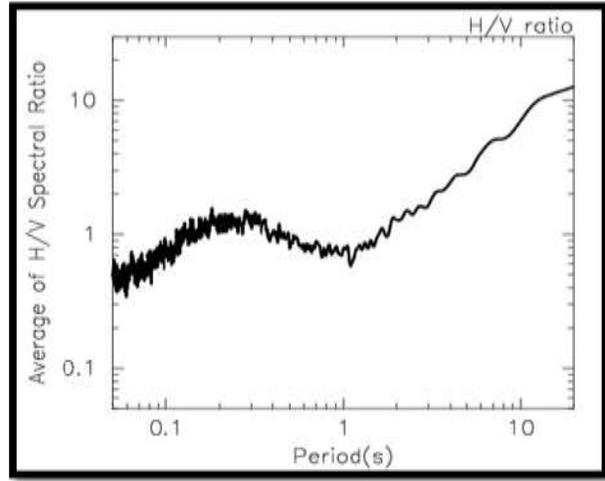
Punto 4



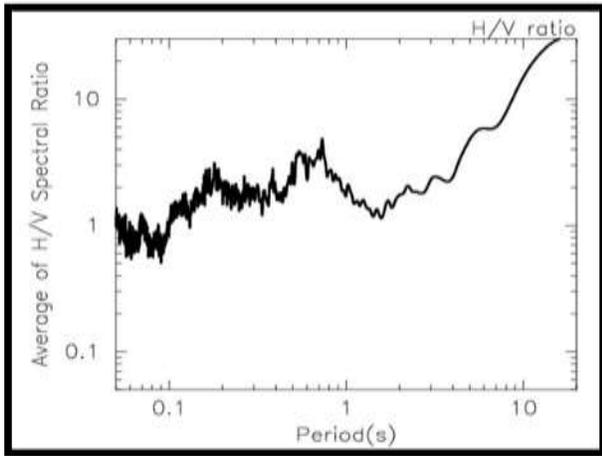
Punto 5



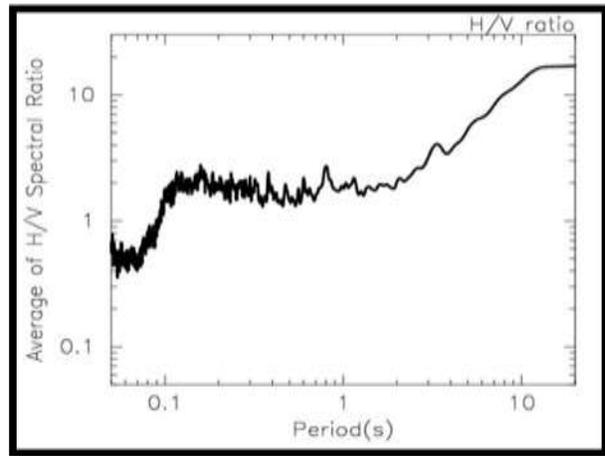
Punto 6



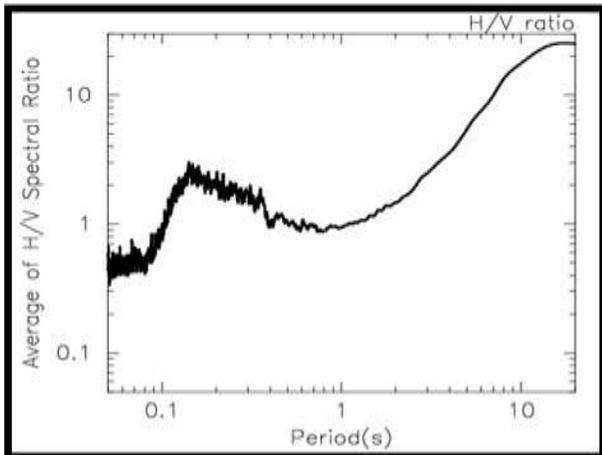
Punto 7



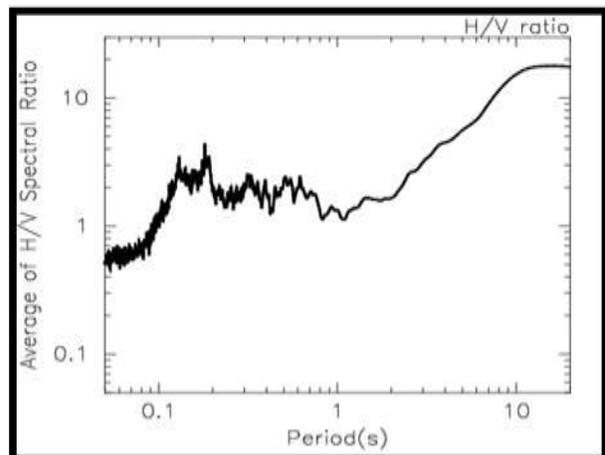
Punto 8



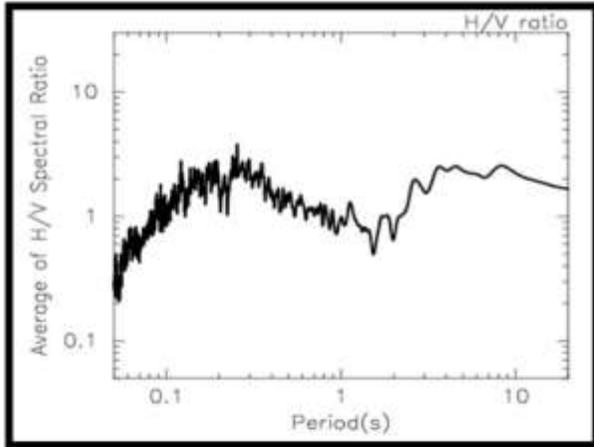
Punto 9



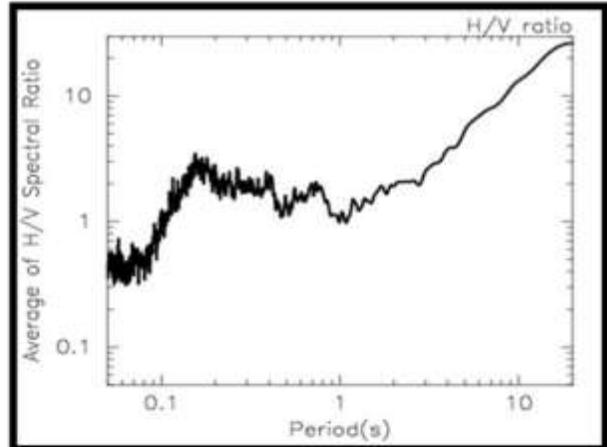
Punto 10



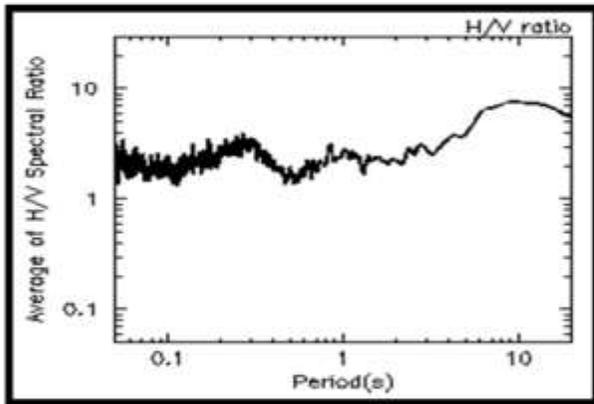
Punto 11



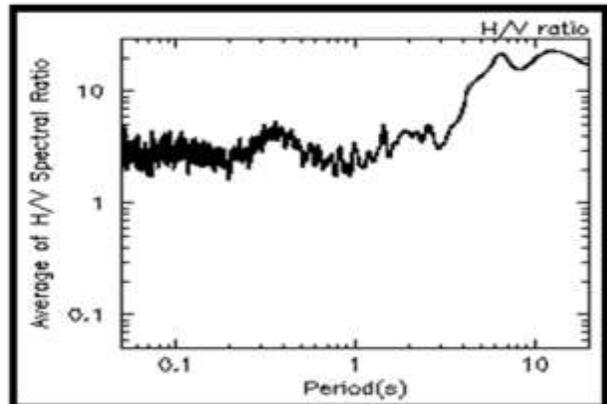
Punto 12



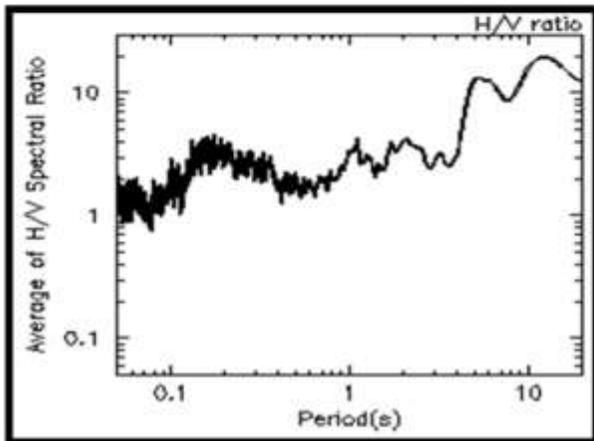
Punto 13



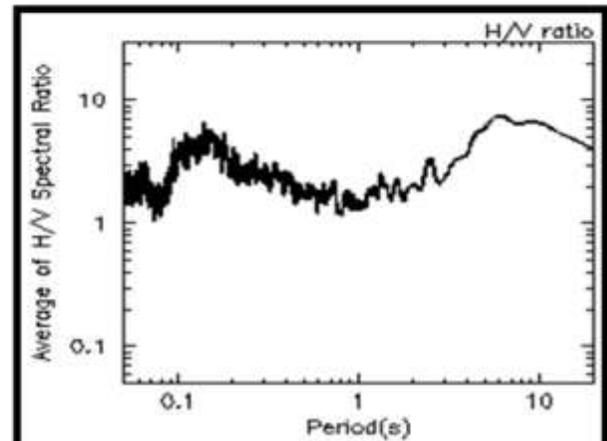
Punto 14



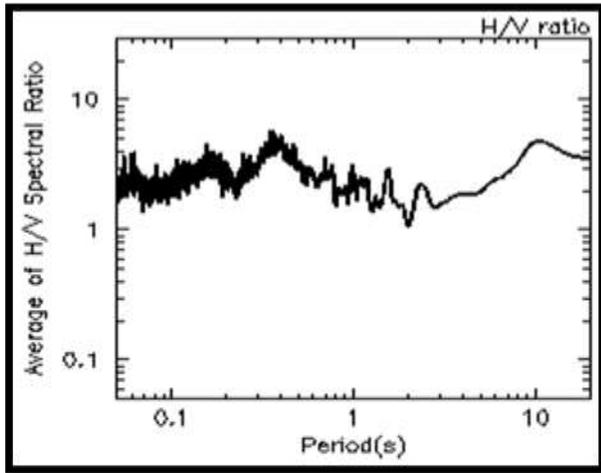
Punto 15



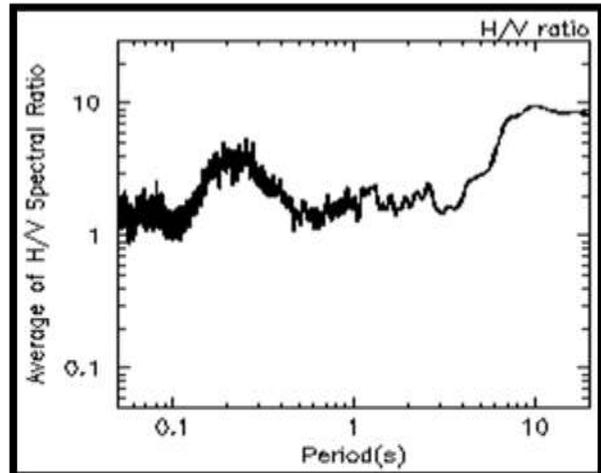
Punto 16



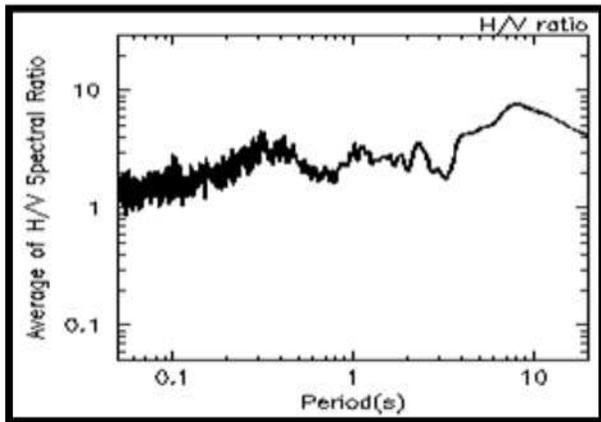
Punto 17



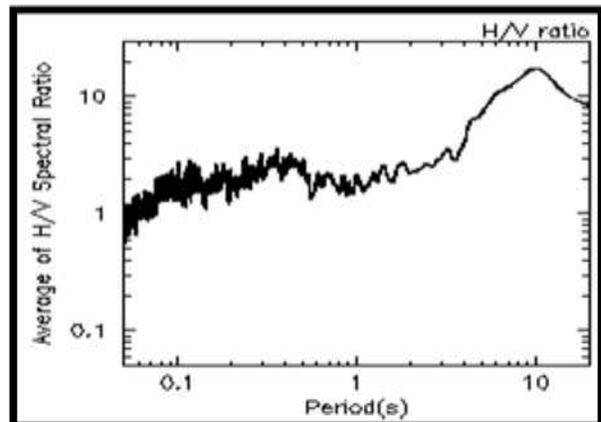
Punto 18



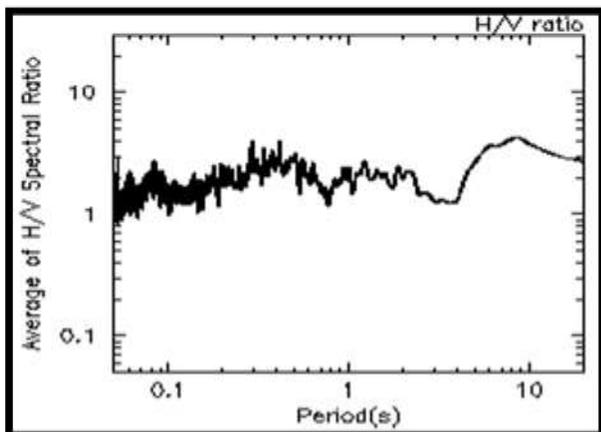
Punto 19



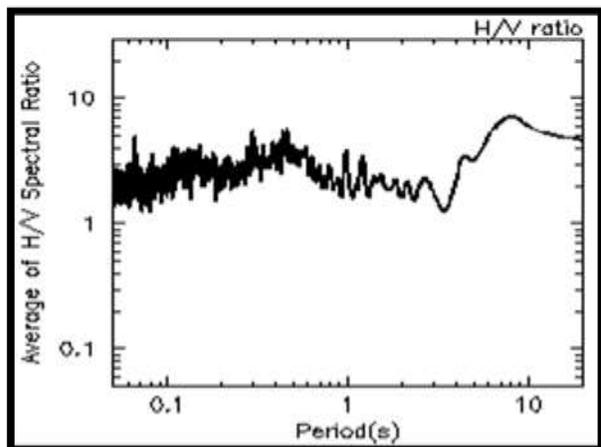
Punto 20



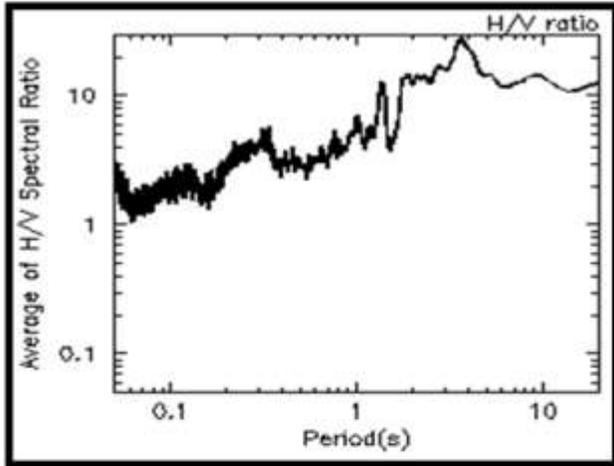
Punto 21



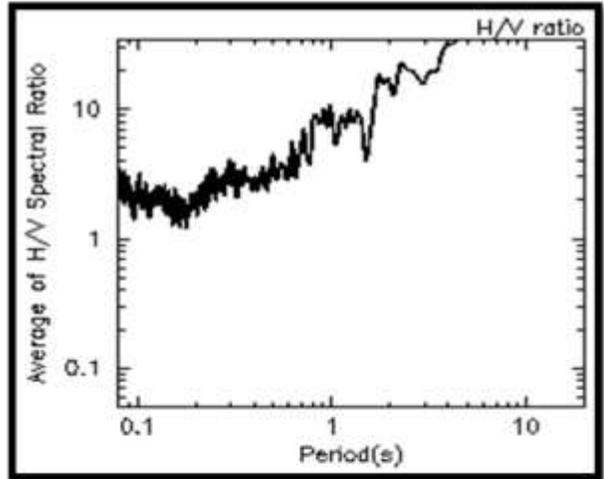
Punto 22



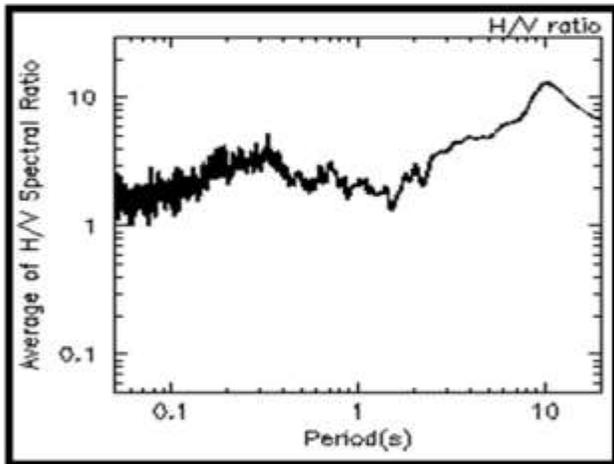
Punto 23



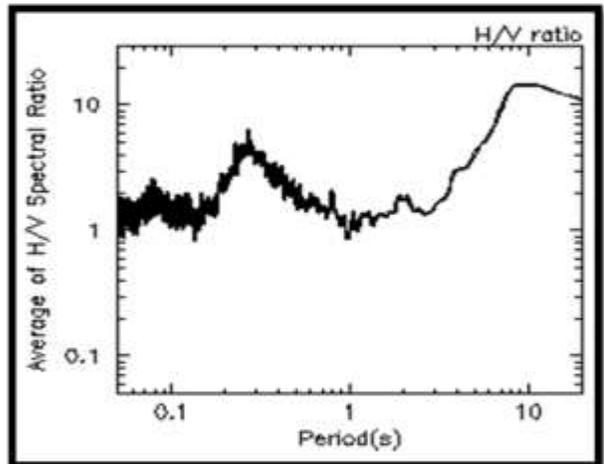
Punto 24



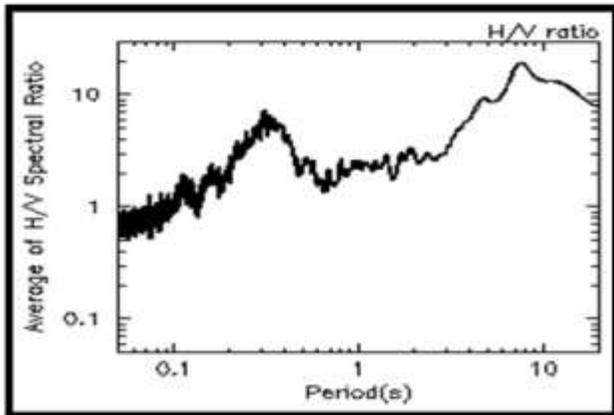
Punto 25



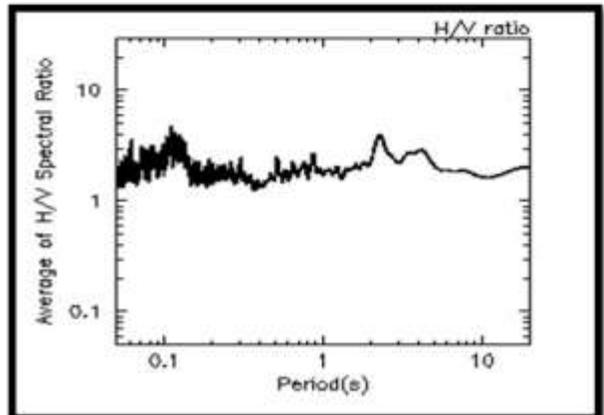
Punto 26



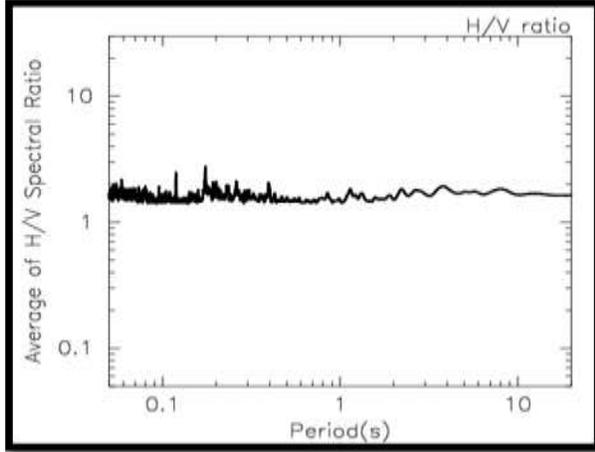
Punto 27



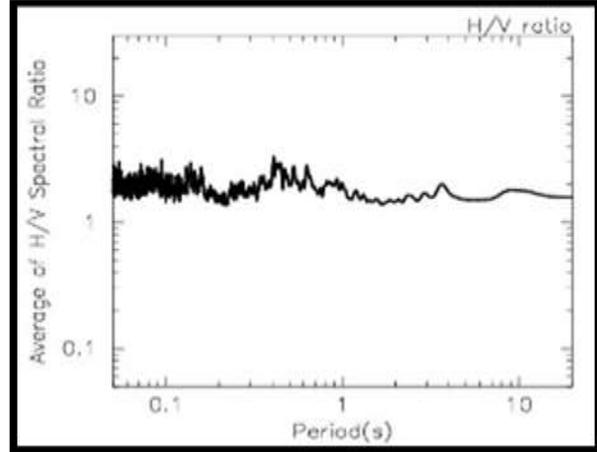
Punto 28



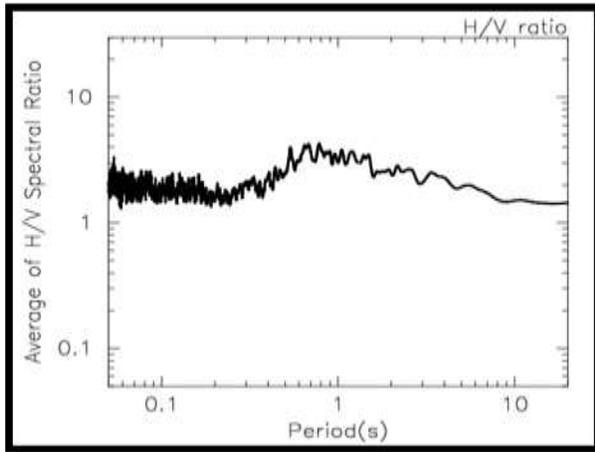
Punto 29



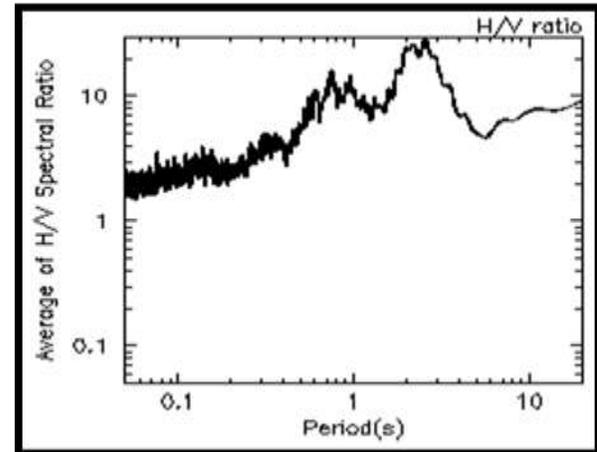
Punto 30



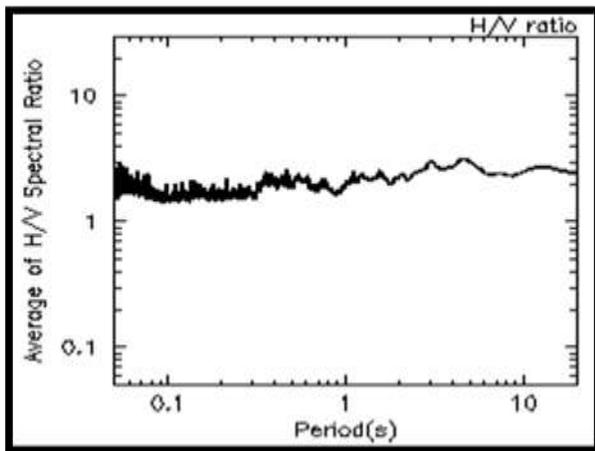
Punto 31



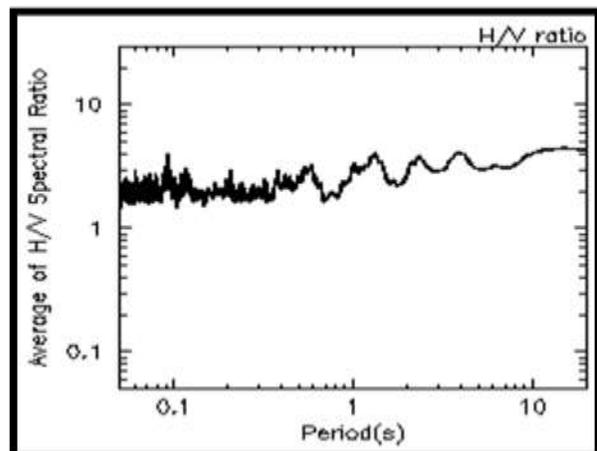
Punto 32



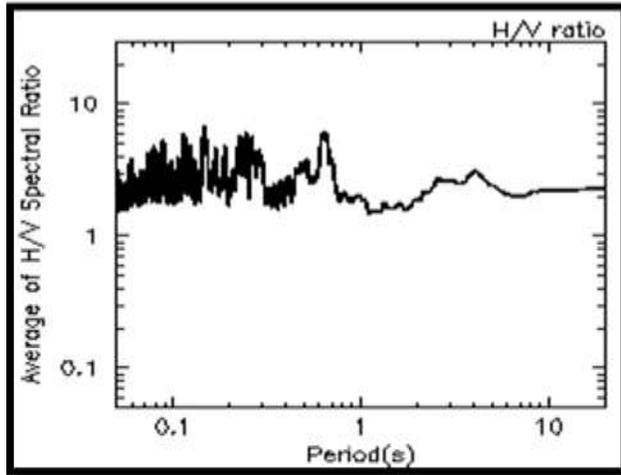
Punto 33



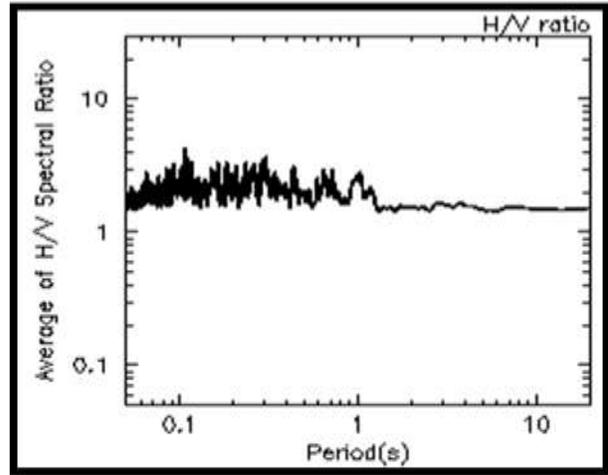
Punto 34



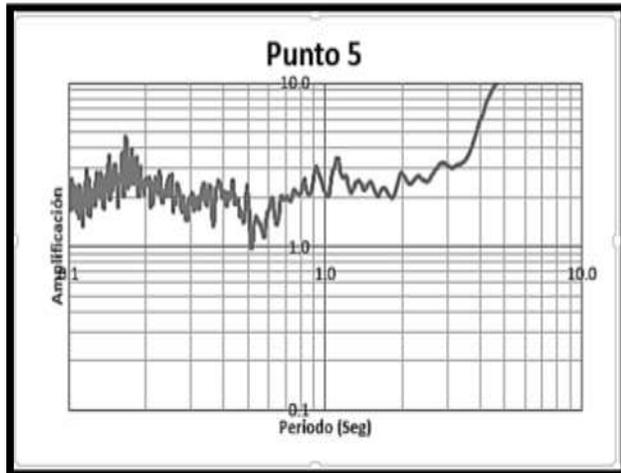
Punto 35



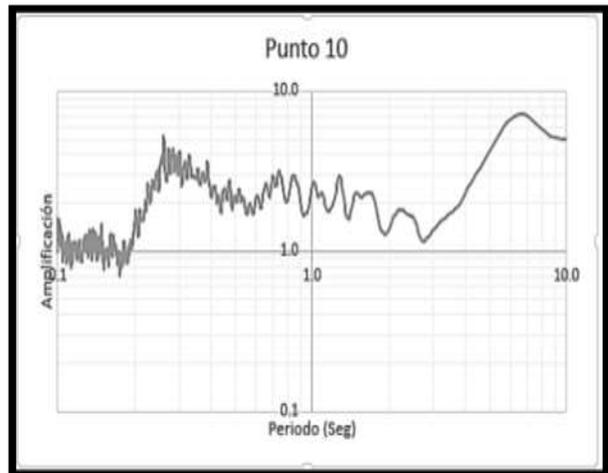
Punto 36



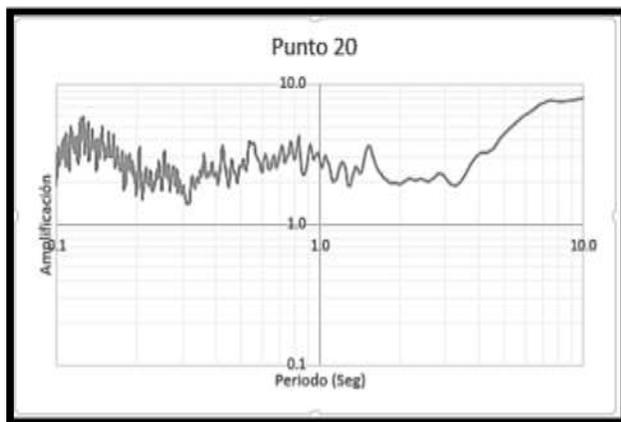
Punto 37



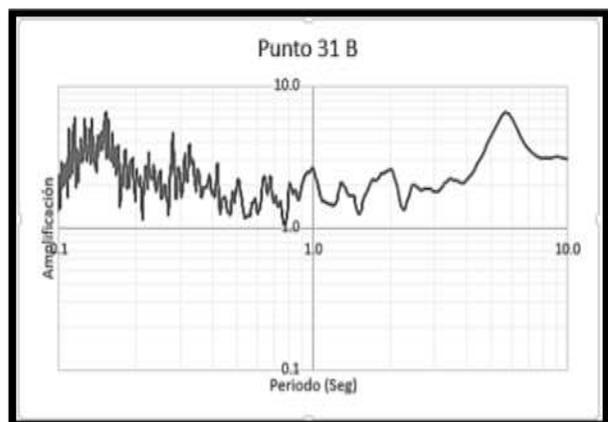
Punto 38



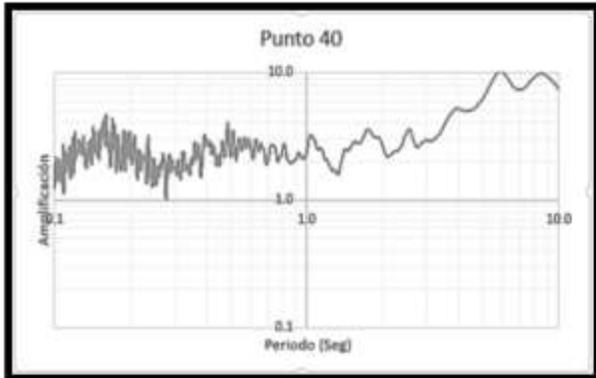
Punto 39



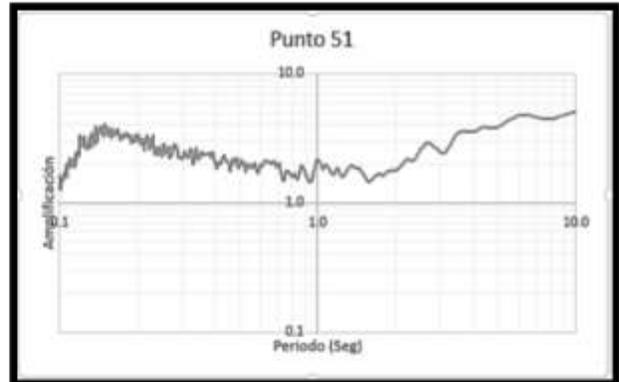
Punto 40



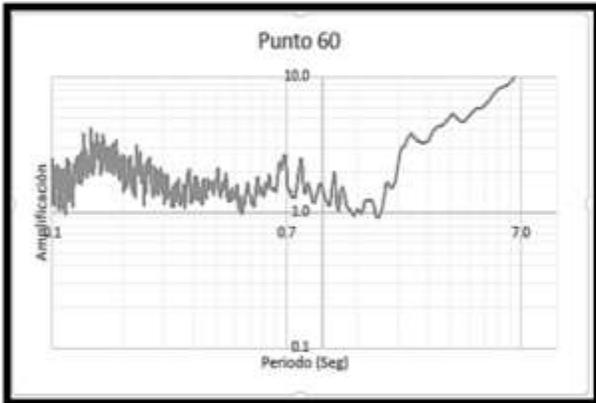
Punto 41



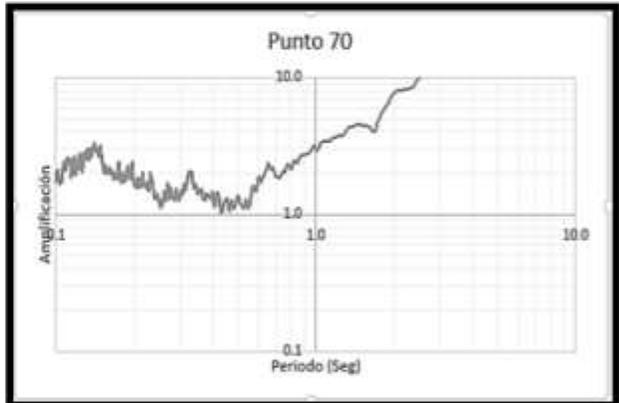
Punto 42



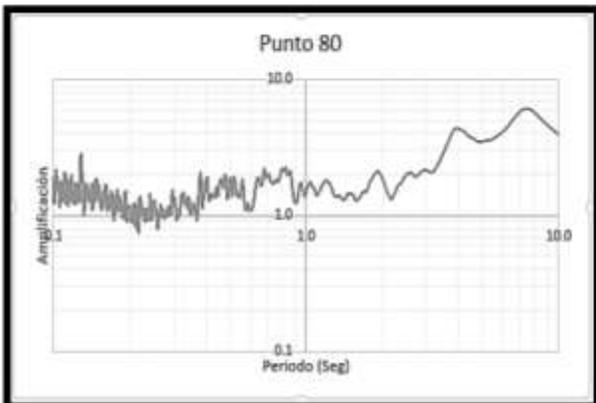
Punto 43



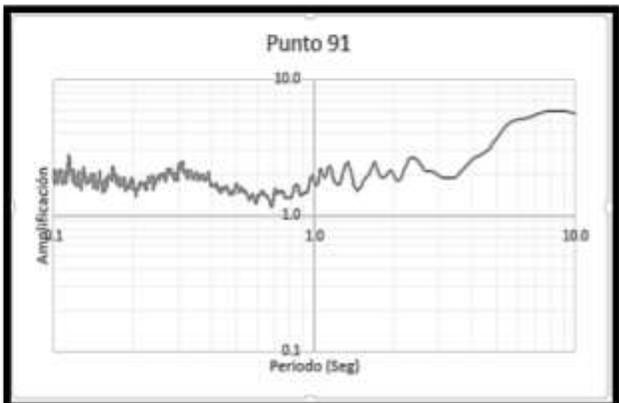
Punto 44



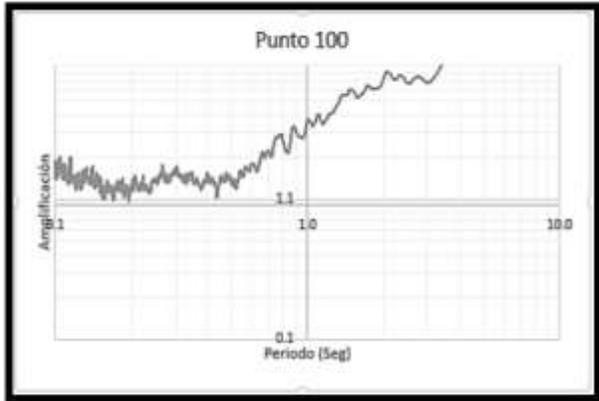
Punto 45



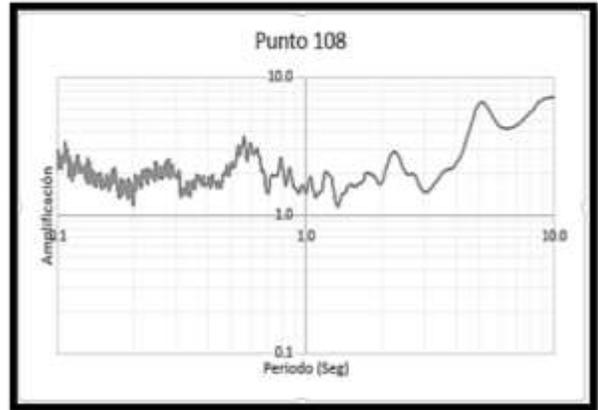
Punto 46



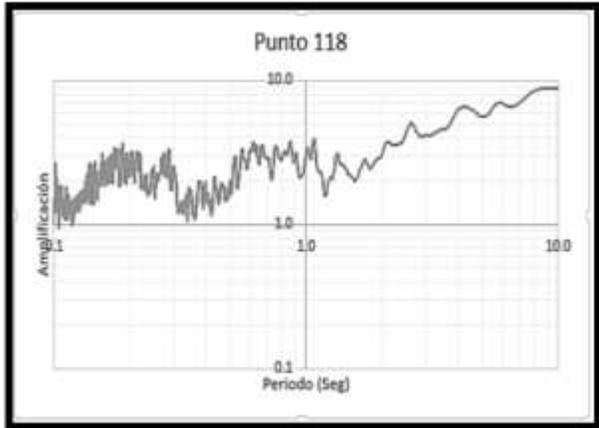
Punto 47



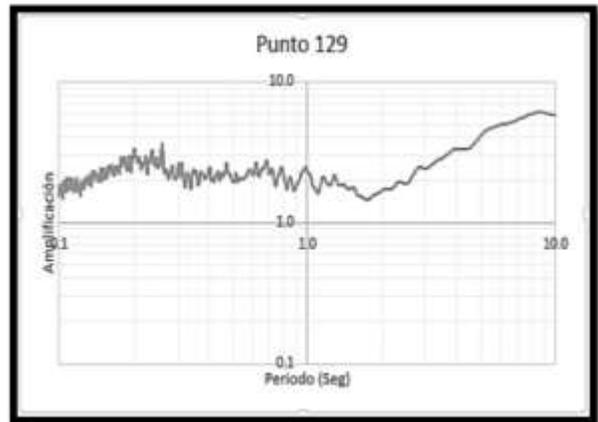
Punto 48



Punto 49



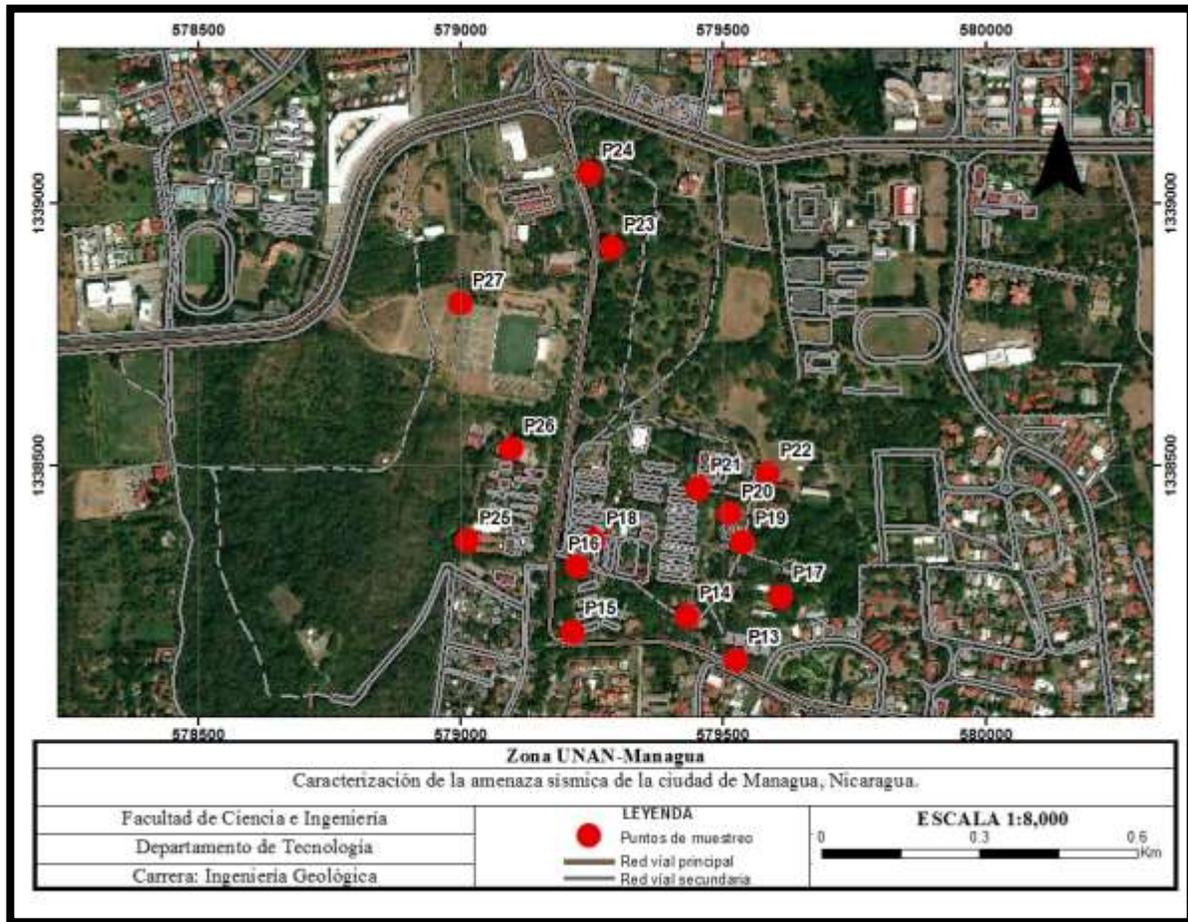
Punto 50



Anexo III

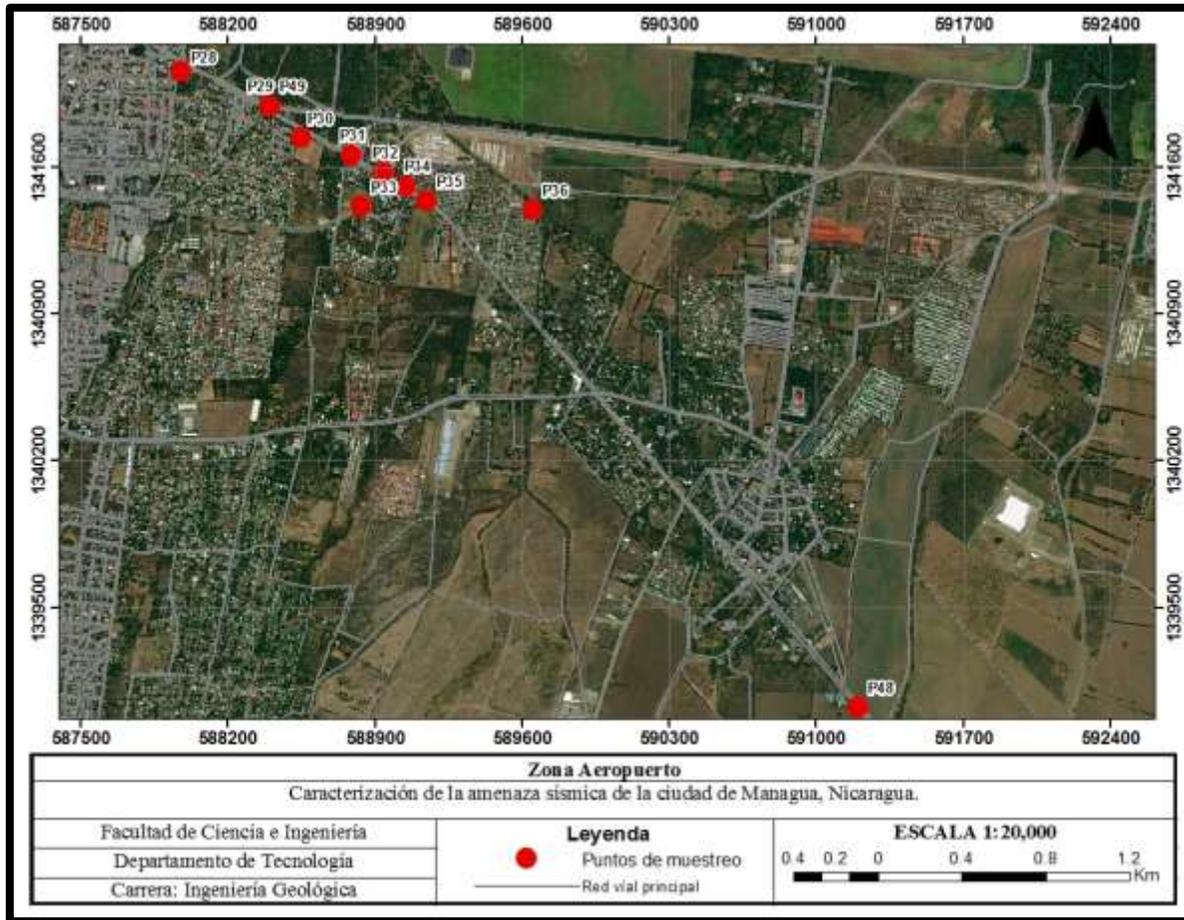
Mapas de Clasificación de los Puntos de Medición por cada zona.

Figura 29. Mapa de localización de los puntos analizados en la zona UNAN- Managua.



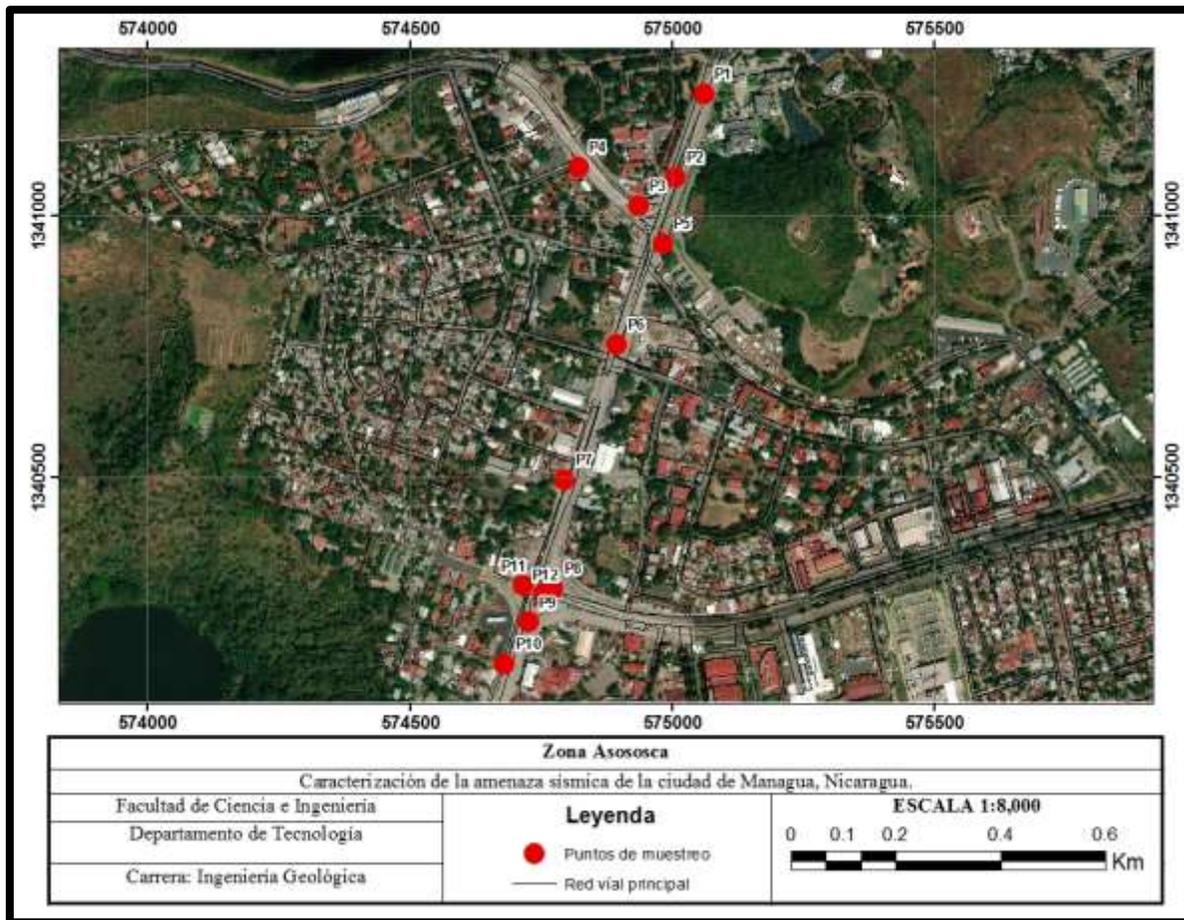
Base de datos Cartográfica, (INETER 2003).

Figura 30. Mapa de localización de los puntos analizados en la zona Aeropuerto.



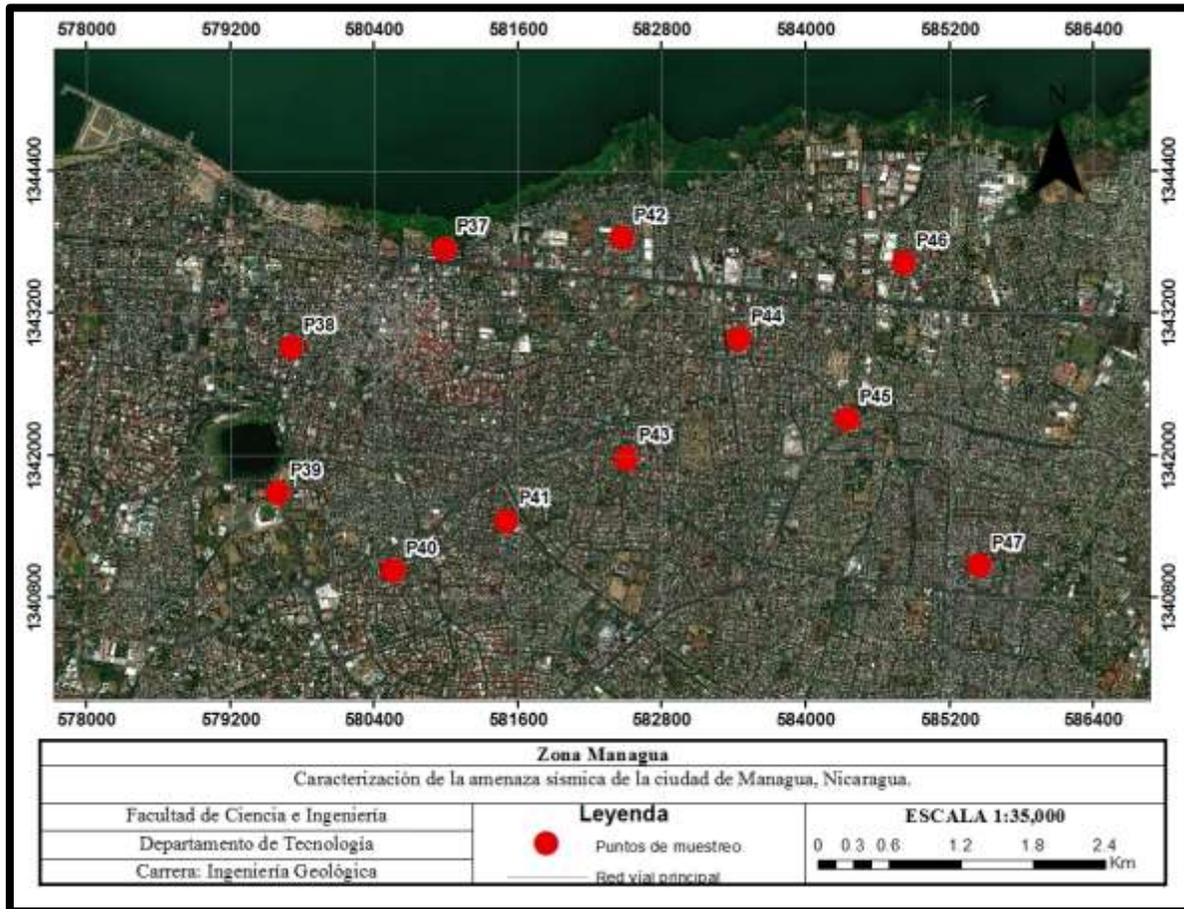
Base de datos Cartográfica, (INETER 2003).

Figura 31. Mapa de localización de los puntos analizados en la zona Asososca.



Base de datos Cartográfica, (INETER 2003).

Figura 32. Mapa de localización de los puntos analizados en la zona Puntos aleatorios Managua.



Base de datos Cartográfica, (INETER 2003).