



Universidad Veracruzana

FACULTAD DE INGENIERIA
"Francisco Díaz Covarrubias"

**"MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA CON FAMILIAS DE
FORMAS ESPECTRALES DE SAN ANDRÉS TUXTLA Y
CATEMACO, VER. (MAPA PRELIMINAR)**

T E S I S

Para acreditar la Experiencia Recepcional de la Carrera de Ingeniería Civil

Presentado por:

Miguel Eduardo Pólito Canela

Dirigido por:

M.I. Regino Leyva Soberanis

Boca del Río, Ver. Enero de 2010



Universidad Veracruzana

Facultad de Ingeniería / Veracruz

Ingeniería Civil

Al pasante:

POLITO CANELA MIGUEL EDUARDO

PRESENTE

Por este medio comunico a usted, que su solicitud de titulación ha sido aprobada con la modalidad de Tesis y el tema **“Microzonificación sísmica con familias de formas espectrales de San Andrés Tuxtla y Catemaco, Ver. (Mapa Preliminar)”** bajo la dirección de **M.I. Regino Leyva Soberanis**, con el siguiente índice:

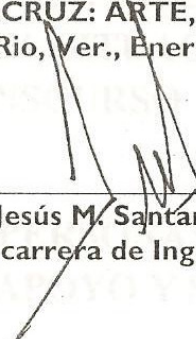
- CAPITULO I: INTRODUCCION
- CAPITULO II: GENERALIDADES
- CAPITULO III: FISIOGRAFIA DE SAN ANDRES TUXTLA Y CATEMACO
- CAPITULO IV: CARACTERISTICAS DINAMICAS DEL SUELO
- CAPITULO V: MAPA PRELIMINAR DE FAMILIAS DE FORMAS ESPECTRALES
- CAPITULO VI: CONCLUSION Y RECOMENDACIONES
- CAPITULO VII: REFERENCIAS
- CAPITULO VIII: APENDICES

En virtud de lo anterior, le informo que deberá asistir a la defensa de su trabajo recepcional el día **Lunes 18 de enero de 2010 a las 18:00 hrs.** en la Sala Audiovisual de esta carrera, así mismo le comunico que el jurado estará comprendido por:

- M.I. Guadalupe Riquer Trujillo (presidente)
- M.I. Regino Leyva Soberanis (secretario)
- M.I. Francisco Williams Linera (vocal)

Sin otro asunto sobre el particular me despido de usted, solicitando su presencia 15 minutos antes en la fecha indicada.

ATENTAMENTE
“LIS DE VERACRUZ: ARTE, CIENCIA, LUZ”
Boca Del Rio, Ver., Enero 08 de 2010


M.C. Ing. Jesús M. Santamaría López
Jefe de la carrera de Ingeniería Civil



FACULTAD DE INGENIERIA
BOCA DEL RIO, VER.

AGRADECIMIENTOS

GRACIAS DIOS POR PERMITIRME VIVIR HASTA ESTOS MOMENTOS Y DARME CONOCIMIENTO, INTELIGENCIA, SABIDURIA, PARA AFRONTAR TODAS LAS BARRERAS Y OBSTACULOS QUE ME HAS PUESTO EN EL TRANSCURSO DE MI VIDA.

TE AGRADESCO DIOS POR DARME UNOS PADRES TAN MARAVILLOSOS QUE ME BRINDARON SU APOYO INCONDICIONALMENTE TANTO EN LOS BUENOS MOMENTOS COMO EN LOS MALOS.

GRACIAS A MIS PADRES EL SR. ANDRES POLITO MORALES Y LA SRA. ALICIA CANELA DE POLITO POR BRINDARME SU CONFIANZA, POR BRINDARME EDUCACION Y APOYARME EN TODO ASPECTO EN EL TRANSCURSO DE MI CARRERA.

GRACIAS A TODA MI FAMILIA EN GENERAL POR BRINDARME SU APOYO EN TODO MOMENTO Y EN TODA OCACION.

AGRADESCO AL ING.GUADALUPE RIQUER TRUJILLO, AL ING. FRANCISCO WILLIANS LINERA Y AL ING. REGINO LEYVA SOBERANIS, POR BRINDARME SU APOYO PARA PODER LLEVAR A CABO ESTE PROYECTO.

GRACIAS A TODOS MIS AMIGOS QUE ME APOYARON EN EL TRANSCURSO DE MI CARRERA, QUE ESTUVIERON EN TODO MOMENTO SIN IMPORTAR LA SITUACION A MI LADO, QUE ME APOYARON EN EL TRANSCURSO DE ESTE PROYECTO, GRACIAS.

AGRADESCO A TODAS LAS PERSONAS QUE ESTUVIERON A MI ALREDEDOR BRINDANDO SU APOYO Y SU CONFIANZA EN MI.

TESIS

MICROZONIFICACION SISMICA CON FAMILIAS DE FORMAS ESPECTRALES DE SAN ANDRES TUXTLA Y CATEMACO, VER. (MAPA PRELIMINAR).

1.- INTRODUCCION	3
1.1.- ANTECEDENTES	3
1.2.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
1.3.- OBJETIVOS DEL TRABAJO	5
1.4.- ALCANCES Y LIMITACIONES	5
1.5.-METODOLOGIA DEL TRABAJO	6
2.- GENERALIDADES	6
2.1.- ANTECEDENTES	6
2.2.-EXPANSION DE AREA URBANA	9
2.3.- HISTORIA SISMICA DE LA REGION	11
2.3.1.-INSTRUMENTACION SISMICA	15
3.- FISIOGRAFIA DE SAN ANDRES TUXTLA Y CATEMACO	24
3.1.-ANTECEDENTES	24
3.2.-GEOLOGIA	25
3.3.-TOPOGRAFIA	27
3.4.-HIDROLOGIA	27
4.-CARACTERISTICAS DINAMICAS DEL SUELO	30
4.1.- ANTECEDENTES	30
4.2.-EFECTOS DEL SITIO	31
4.3.-TECNICA DE NAKAMURA	33

“mapa preliminar de familias espectrales con fines de microzonificación sísmica de la ciudad de Catemaco y San Andrés Tuxtla.

4.4.- VIBRACION AMBIENTAL	35
4.4.1.- CARACTERISTICAS DE LOS EQUIPOS	35
4.5.- ANALISIS DE DATOS	37
4.5.1.- REGISTROS DE VIBRACION AMBIENTAL	37
4.5.1.1.-INTERPRETACION DEL PROMEDIO DE RAZONES ESPECTRALES	42
4.5.1.2.- FAMILIAS DE FORMAS ESPECTRALES	45
5.- MAPA PRELIMINAR DE FAMILIAS DE FORMAS ESPECTRALES	46
6.- CONCLUSION Y RECOMENDACIONES	50
7.- REFERENCIAS	51
8.- APENDICES	52

1.- INTRODUCCION

1.1 ANTECEDENTES

A través de la historia de los seres humanos hemos tenido que observar toda la naturaleza con detenimiento ya que muchos fenómenos que son impredecibles, uno de estos grandes fenómenos son los sismos.

México como cualquier país del mundo, ha sido testigo de fuertes sismos lo que traído como consecuencia pérdidas económicas, humanas y materiales.

Como resultado de lo anterior existen investigaciones que permiten determinar el comportamiento de las estructuras cuando estas son sometidas a los efectos de los sismos que ocurren en diferentes lugares, dando como resultado una mejor resistencia ante las fuerzas sísmicas.

Debido a que el estado de Veracruz no está exento de estos fenómenos, se han hecho estudios de los principales centros urbanos. Unos de estos estudios preliminares consisten en medir la vibración ambiental de diferentes sitios en las ciudades más importantes del estado de Veracruz. Este tipo de monitoreo se hizo en los municipios de Catemaco y San Andrés Tuxtla.

San Andrés Tuxtla y Catemaco son ciudades ubicadas al sur del estado de Veracruz considerado por el Manual de Diseño de Obras Civiles de la Comisión Federal de Electricidad (MDOC-1993) como bajo riesgo sísmico.

Con el fin de entender mejor este fenómeno y la respuesta sísmica de los distintos tipos de suelo, se realizó este trabajo de tesis. Se midió la vibración ambiental en las dos ciudades en 40 sitios. En Catemaco se midió en 20 puntos y 20 puntos en San Andrés Tuxtla. Con esto tenemos de manera preliminar, la forma de vibrar del suelo en estas dos ciudades importantes de la región sur del estado de Veracruz.

Son pocos los estudios realizados en las presentes ciudades; por lo tanto esperamos que con este proyecto podamos obtener los primeros registros

que sean la base para estudios más avanzados que tengan como fin disminuir el riesgo sísmico. Este trabajo de tesis es parte del un proyecto patrocinado con fondos mixtos entre CONACYT y el Gobierno del Estado de Veracruz.

1.2.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Existe la necesidad de mejorar la calidad de las construcciones ya que debido a la poca investigación de los suelos se construyen edificaciones sin saber qué tipo de suelo existe realmente. En ambas ciudades existe todo tipo de construcciones con diferentes tipos de materiales, pero se debe resaltar que en las comunidades que hay a sus alrededores existen casas construidas de palma, adobe, caña lo cual es un gran problema ya que debido a que solo están diseñadas para dar una comodidad, y no toman en cuenta los efectos de los sismos, y los fuertes vientos. Para esto se requiere tener estudios que determinen el comportamiento dinámico del suelo.

San Andrés Tuxtla y Catemaco son ciudades que actualmente están en pleno desarrollo en varios aspectos; y no están exentas de sufrir el efecto de algún sismo y como consecuencia sufrir daños graves en las construcciones. No existe ninguna norma que permita tomar en cuenta los efectos de los sismos en las construcciones. La cercanía de esta región a la zona del Istmo de Tehuantepec, la hacen proclive a daños generados por sismos fuertes. Esta región también pudiera estar sujeta a sismos superficiales del tipo Jaltipan, por lo que no se descartan este tipo de eventos que pudieran causar serios daños a la región.

1.3.- OBJETIVOS DEL TRABAJO

Objetivo principal:

Obtener las frecuencias y periodos de la forma de vibrar de los diferentes puntos donde se midió la vibración ambiental de Catemaco y San Andrés Tuxtla. Esto nos permitirá conocer que tipos de edificaciones pudieran ser más vulnerables en los diferentes sitios de ambas ciudades. Agrupar los sitios con similar formas de vibrar en un mapa de familias espectrales. De esta forma se podrán delimitar zonas de las ciudades donde el suelo tiene un comportamiento parecido en su forma de vibrar.

1.4.- ALCANCES Y LIMITACIONES

En la medida de lo posible, se trató de abarcar la parte poblada de ambos municipios haciendo un registro de vibración ambiental por cada kilómetro cuadrado. Esto dio como resultado un total de 20 muestras en Catemaco y 20 en San Andrés Tuxtla. Esto permite tener una idea razonable en la forma de vibrar de cada zona.

Cabe mencionar que estos son los primeros estudios que se están realizando en estas ciudades y se logró abarcar un 80% del área de cada una de estas ciudades. En el futuro, este estudio pudiera ampliarse a las zonas probables de crecimiento de la zona urbana y aumentar la densidad de los puntos de vibración ambiental.

Estos estudios podrían ser más precisos teniendo una red local de medición de sismos y complementarse con otros estudios que incluyen la medición de ondas de cortante para tener una mayor idea del comportamiento de los suelos.

1.5.- METODOLOGIA DEL TRABAJO.

En la unidad II se presenta una breve descripción histórica del crecimiento de la región así también una breve reseña de los daños que han recibido estas ciudades a consecuencia de los sismos

En la unidad III se describe los diferentes tipos de suelos que existen lo cual comprende a su geología; de tal manera no podemos pasar por alto la topografía y la hidrología que para estos estudios es de vital importancia.

Unidad IV se observaran los distintos tipos de métodos que se utilizaran para realizar y comprender a detalle este proyecto así también como el análisis de cada una de las pruebas hechas en campo y la descripción general del equipo

Unidad V se presentas las diferentes graficas que dieron como resultado del procesamiento de los 40 puntos que se realizaron en total de tal manera agrupándolos en un mapa de familias espectrales.

Unidad VI –VII-VIII es estas últimas tres unidades contarán de la conclusión del proyecto y sus recomendaciones a seguir para estas ciudades sin dejar mencionar las referencias y los apéndices.

2.- GENERALIDADES

2.1.- Antecedentes

En general conforme pasa el tiempo se han hecho muchas especulaciones de por qué se dan los fenómenos de los temblores y por que en algunas zonas se dan con mayor frecuencia y con mayor fuerza.

La causa que genera un terremoto es la liberación de energía que se ha acumulado durante mucho tiempo. La corteza de la tierra está conformada

por una docena de placas de, aproximadamente, 70 km de grosor, cada una con diferentes características físicas y químicas. Estas placas (tectónicas) se están acomodando en un proceso que lleva millones de años y han ido formando a la superficie de este planeta. También han originando los continentes y los relieves geográficos en un proceso que todavía no se ha completado. Habitualmente estos movimientos son lentos e imperceptibles, pero en algunos casos estas placas chocan entre sí en las profundidades de la Tierra, impidiendo así su desplazamiento. A consecuencia, una de las placas se mueve de forma brusca contra la otra rompiéndola, y de esta manera se libera una cantidad variable de energía que origina este fenómeno.

Las zonas en que las placas ejercen esta fuerza entre ellas se denominan fallas, y son los puntos en donde con más probabilidad se producen los terremotos. El punto donde se origina un movimiento sísmico se le llama hipocentro (**figura 2.1**) y se divide en tres:

- Superficial: cuando ocurre en la corteza de la Tierra (hasta 70 km de profundidad).
- Intermedio: cuando ocurre entre los 70 y los 300 km de profundidad.
- Profundo: cuando es de mayor profundidad (el centro de la Tierra se ubica a unos 6.370 km de profundidad).

Se conoce como epicentro a la proyección en la superficie de la tierra del foco. Generalmente en el epicentro es el lugar con donde se pueden presentar el mayor daño (**fig.2.2**). Aunque el epicentro pueda ubicarse en un sitio específico la zona de rompimiento del sismo puede ser muy grande y abarcar kilómetros de distancia. El viaje de las ondas sísmicas a través de la corteza terrestre origina también efectos de consideración en zonas lejanas al epicentro. El efecto que las ondas ocasionan va a depender de las

características dinámicas del suelo, y es donde adquiere relevancia el estudio de los diferentes sitios expuestos a los efectos sísmicos.

No hay que olvidar que existen regiones en la tierra donde ocurren con mayor frecuencia los sismos. Por esta razón los sismólogos han analizado más a detalle las zonas con un alto riesgo sísmico.

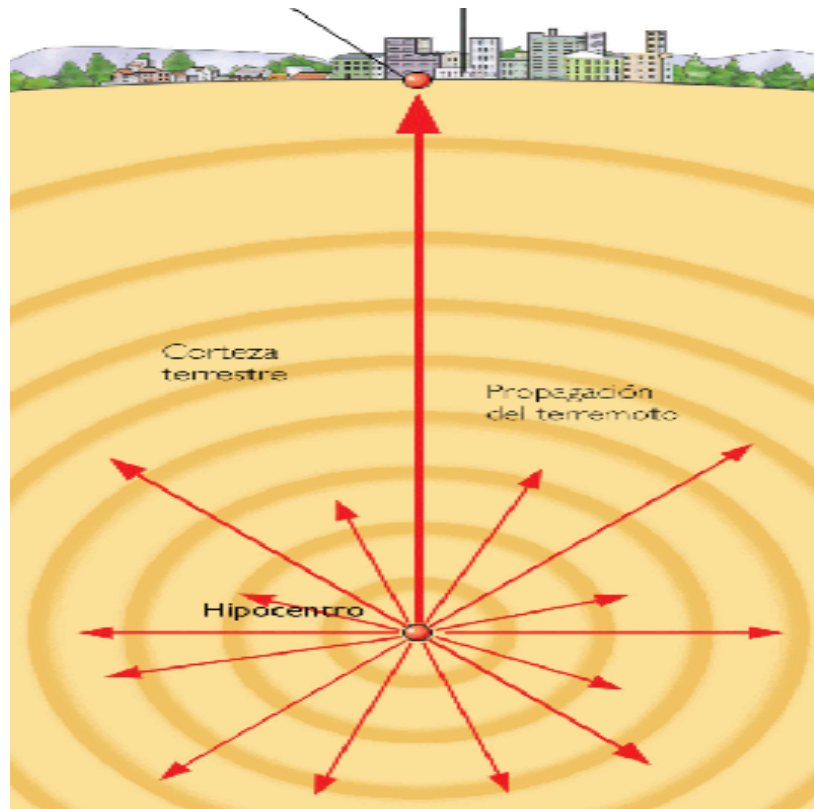


Figura 2.1 Hipocentro de un sismo

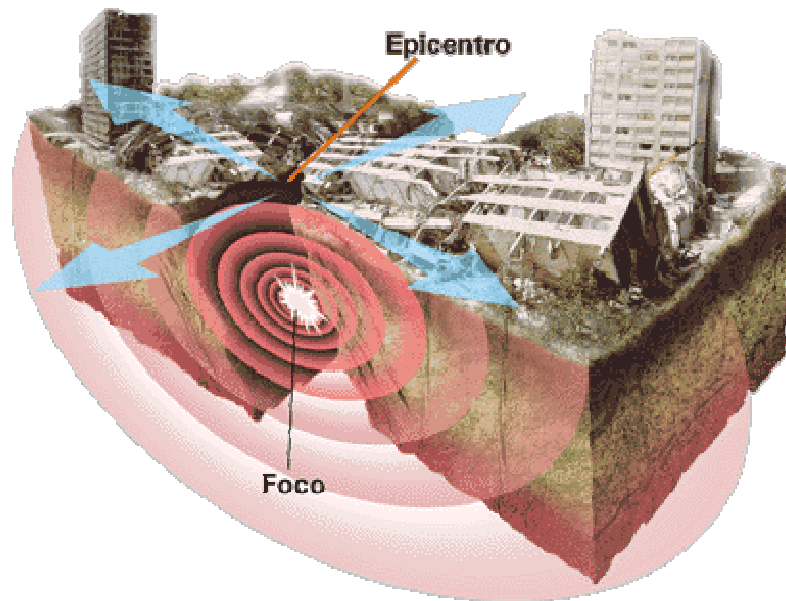


Figura 2.2 Foco y epicentro de un sismo

2.2.- EXPANSIÓN DE AREA URBANA

El municipio de Catemaco se encuentra ubicado en una gran a área en donde se ubican vestigios de la cultura olmeca llamada, la cual se considera que dio origen a otras culturas de Mesoamérica. Su presencia en esta región data entre los años 1500 a.c. al 300 d.c. la ciudad de Catemaco se conoció en un principio con el nombre acatemac. Posteriormente, le fue cambiado por el nombre a Catemaxca y finalmente el hoy conocido, Catemaco. De acuerdo a los historiadores su nombre significa “tierra colada estratégicamente”.
(Ref. 1)

La fecha de su fundación se pierde en el tiempo, pero se dice que desde 1714 ya era una congregación. La su población aumento en el año 1723 a raíz de la erupción del volcán San Martín, lo que influyo para que en el año de 1823 se elevara a su categoría a pueblo con una población de 1100 habitantes. En 1881 alcanzo la categoría de villa y en 1966 es elevada a ciudad.

La ciudad y municipio de Catemaco colinda al norte con el golfo de México, al sur con Hueyapan de Ocampo, al este con Sotepan y al oeste con San Andrés Tuxtla. Catemaco está situado al sureste del estado de Veracruz 18° 25' latitud norte y 96° 7' segundos longitud oeste y con una altura sobre el nivel del mar de 350 metros. Cuenta con una extensión territorial de 720.65 km².

Catemaco es una ciudad importante ya que su nivel económico ha crecido considerablemente gracias a la amplia zona turística. Su zona está formada por diferentes núcleos de población, colonias áreas industriales y comerciales. La ciudad cuenta con una amplia oferta educativa que va desde educación elemental hasta universitaria; cada año esta ciudad crece y con ello sus edificaciones.

En el caso del municipio de San Andrés Tuxtla, tiene sus raíces en la cultura ancestral, y todavía prevalecen en su territorio vestigios históricos. Su origen proviene de una colonia azteca que estaba ubicado en el corredor montañoso, de acuerdo a los historiadores su nombre significa tierra de conejos.

La fecha de su fundación no es precisa. Solo se tiene registro que a este extenso paraje se le llamo “Tuxtla” desde 1532. La ubicación geográfica de San Andrés Tuxtla es una extensa joya rodeada por infinidad de cerros de varias dimensiones, entre estos el volcán “San Martin”.

San Andrés Tuxtla se ubica en la costa de Veracruz frente al Golfo de México; entre los 18° 43' a los 18° 13' latitud norte y entre los 95° 03' a los 95° 27' longitud oeste. Tiene una altura sobre el nivel del mar de 300 metros. Se encuentra a unos 157 km de Veracruz y 155 km de Coatzacoalcos.
(Ref. 2)

“mapa preliminar de familias espectrales con fines de microzonificación sísmica de la ciudad de Catemaco y San Andrés Tuxtla.

El potencial económico del municipio de San Andrés Tuxtla puede tener a futuro un crecimiento considerable. La zona es rica en productos del campo tales como: el maíz, frijol chícharos, chile, yuca, chayote, camote, calabaza, sandía, jícama, etc. Esto define a este municipio como un gran polo de desarrollo, que pudiera dar origen a un gran núcleo de población y como consecuencia construcciones que sustenten dicho crecimiento.

2.3.- HISTORIA SISMICA DE LA REGION

La historia Catemaco y San Andrés Tuxtla desde el punto de vista sísmico es escasa debido a que no se cuenta con monitoreo sísmico de la región. Por ejemplo en la **figura 2.3** se muestra un mapa de un sismo en el estado de Veracruz. El sismo que se presenta en la figura es el del 2002/01/30 con una hora 02:42:03 ocurrido en Veracruz- Oaxaca con una latitud de 18.12 y longitud-96.03 su magnitud fue de 5.1 (**Ref. 3**)

“ mapa preliminar de familias espectrales con fines de microzonificación sísmica de la ciudad de Catemaco y San Andrés Tuxtla.

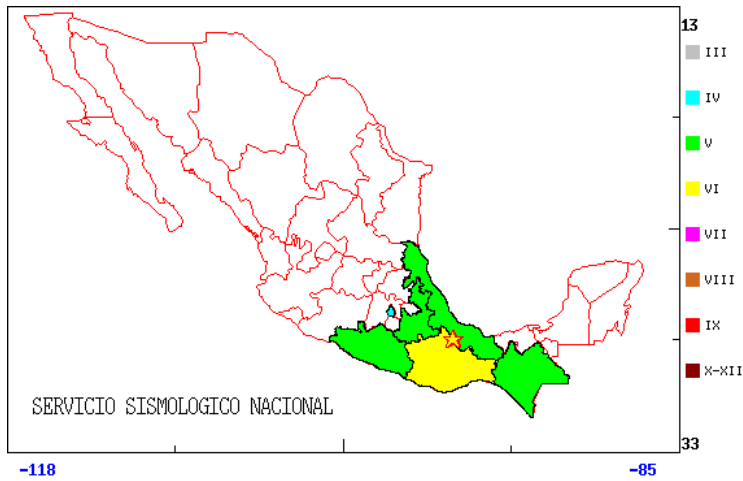


Figura 2.3 Sismo del 30 de enero del 2002

Tabla 2.3 Tabla de intensidad de Veracruz

Municipio	Intensidad MERCALLI	Promedio	Numero de reportes
CORDOBA	IV-VII	V	4
BOCA DEL RIO	III-VII	IV	3
COATEPEC	III-VI	IV	2
COATZACOALCOS	III-IX	V	13
CHOAPAS LAS	VII-VII	VII	1
FORTIN	IV-IV	IV	1
XALAPA	III-VII	V	27
MEDELLIN	V-V	V	1
MINATITLAN	V-VI	V	5
ORIZABA	IV-VI	V	10
SAN ANDRES TUXTLA	V-VII	VI	5
TIERRA BLANCA	VII-IX	VIII	3
VERACRUZ	III-VII	V	16

“mapa preliminar de familias espectrales con fines de microzonificación sísmica de la ciudad de Catemaco y San Andrés Tuxtla.

Conforme avanza la historia y transcurre el tiempo se han registrados sismos en estas dos ciudades que aunque son de magnitud baja en las regiones donde se registra el epicentro de sienta movimientos.

Se mencionaran algunos sismos que han ocurrido en la ciudad de Catemaco y sus alrededores son los siguientes:

Cabe destacar que estos sismos fueron registrados en el instituto de la UNAM, ya que no hay centros de investigación en la ciudad de Catemaco y San Andrés.

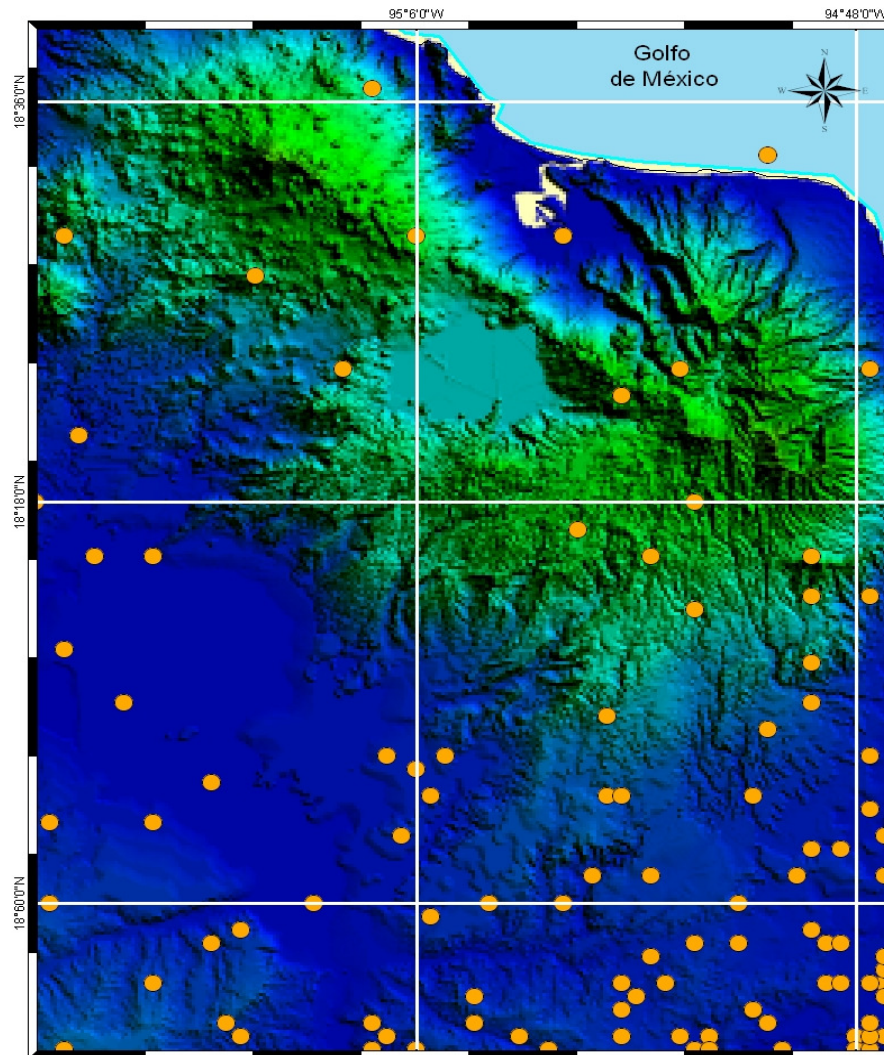


Figura 2.3.a Epicentros de sismos en la región

Sismos registrados en la zona de San Andrés Tuxtla ver, Catemaco y sus alrededores.

Tabla 2.3a Epicentros de la región

FECHA	HORA(Local)	LONG	LAT	MAG	PROF(km)
03/05/1943	10:17:05	- 95.00	18.00	5.70	150.00
30/06/1946	04:59:43	- 95.00	18.50	5.50	180.00
06/08/1949	18:53:12	- 95.10	18.10	-	-
24/12/1959	08:09:23	- 95.00	18.50	4.80	200.00
20/04/1968	04:43:10	- 95.10	18.50	2.70	-
13/10/1969	12:55:59	- 95.28	18.06	2.90	33.00
28/04/1976	08:23:33	- 95.12	18.11	-	33.00
20/01/1977	05:09:05	- 95.05	18.00	-	33.00
23/04/1977	04:12:19	- 94.88	18.00	-	33.00
17/11/1977	11:14:47	- 94.99	18.28	-	33.00
23/10/1978	12:17:24	- 94.83	18.26	-	33.00
08/01/1979	20:04:02	- 95.30	18.15	-	16.00
31/01/1980	19:14:48	- 95.08	18.11	-	33.00
04/07/1980	09:14:55	- 94.97	18.08	2.90	119.00
22/08/1980	22:08:50	- 94.91	18.22	-	33.00
24/05/1981	09:32:34	- 94.97	18.14	-	33.00
06/08/1981	09:40:21	- 94.94	18.02	-	33.00
21/08/1981	21:06:12	- 94.86	18.13	-	33.00
11/12/1981	15:50:18	- 95.11	18.05	-	33.00
27/06/1982	10:04:03	- 94.94	18.26	-	33.00
29/06/1982	22:36:33	- 95.24	18.09	3.50	33.00
24/07/1982	02:42:30	- 95.09	18.08	-	33.00
05/01/1983	15:16:45	- 94.83	18.23	-	70.00
13/01/1983	12:40:56	- 94.87	18.08	-	33.00
18/05/1983	03:12:40	- 95.21	18.47	-	33.00
24/05/1983	13:44:10	- 94.84	18.02	-	33.00
31/10/1983	14:49:23	- 94.81	18.04	-	33.00
08/12/1983	21:49:58	- 95.15	18.40	-	8.00
20/03/1984	14:11:47	- 95.17	18.00	-	15.00
18/09/1984	20:29:15	- 94.83	18.04	-	70.00
14/07/1985	19:04:16	- 95.28	18.26	-	33.00

Continuación de la tabla 2.3a

19/12/1985	16:39:30	-94.83	18.18	-	33
10/03/1988	16:08:01	-94.96	18.38	2.6	33
06/04/1988	21:53:42	-94.83	18.15	2.2	35
26/12/1988	07:27:08	-94.98	18.02	3.2	20
20/02/1989	15:50:49	-95.34	18.5	3.6	60
08/04/1998	12:00:08	-95.32	18.26	3.2	33
03/01/2000	10:08:49	-94.91	18.3	2.1	15
09/11/2000	23:49:27	-95.35	18	3.2	72
09/10/2001	18:48:12	-95.34	18.19	4.1	43
20/10/2003	21:26:47	-95.33	18.35	2.6	16
17/03/2004	11:44:58	-95.35	18.06	3.4	64
12/07/2004	00:27:05	-94.96	18.08	2.6	75
25/11/2005	05:57:13	-94.92	18.4	2.7	5

2.3.1.- INSTRUMENTACION SISMICA

Propagación de onda de un sismo

Si un sismo consiste precisamente en la liberación repentina de los esfuerzos impuestos al terreno. De esta manera, la tierra es puesta en vibración. Esta vibración es debida a la propagación de ondas como en el caso del diapasón.

En un terremoto se transmiten ondas que viajan por el interior de la tierra. Siguen caminos curvos debido a la variada densidad y composición del interior de la Tierra. Este efecto es similar al de la refracción de ondas de luz. A este tipo de ondas se llaman ondas internas, centrales o de cuerpo, transmiten los temblores preliminares de un terremoto pero poseen poco poder destructivo. Las ondas de cuerpo son divididas en dos grupos: ondas primarias (P) y secundarias (S) (Ref. 4)

Ondas P. Las ondas compresionales son las que se transmiten cuando las partículas del medio se desplazan en la dirección de propagación, produciendo compresiones y dilataciones en el medio; Ésta es la más veloz de todas las ondas sísmicas (más de 5 km/s en las rocas graníticas cercanas a la superficie, y alcanza más de 11 km/s en el interior de la Tierra) y, por lo tanto, es la primera en llegar a cualquier punto, en ser sentida y en ser registrada en los sismogramas, por lo que se llamó onda Primera o Primaria y de allí el nombre de P (en inglés se asocia también con push que significa empujón o empujar). **Figura 2.4a**

Ondas S. Las ondas de corte o de cizalla, llamadas ondas S, son aquéllas en las cuales las partículas del medio se desplazan perpendicularmente a la dirección de propagación, por lo que están asociadas con deformaciones del terreno de tipo de cizalla; La onda S es más lenta que la onda P. En una amplia gama de rocas su velocidad, V_s , es aproximadamente igual a la velocidad de la onda P, Como la onda S es la segunda en llegar se le llamó Secundaria, y de allí su nombre (en inglés se asocia con shake, que significa sacudir). **Figura2.4b- (Ref. 4)**

Ondas Rayleigh son ondas superficiales que viajan como ondulaciones similares a aquellas encontradas en la superficie del agua. La existencia de estas ondas fue predicha por John William Strutt. **Figura 2.5c**

Ondas "Love" son ondas superficiales que provocan cortes horizontales en la tierra. Fueron bautizadas por A.E.H. Love, un matemático británico que creó un modelo matemático de las ondas en 1911. Las ondas Love son levemente más lentas que las ondas de Rayleigh. **Figura 2.6d**

Los diferentes tipos de onda se pueden ser registradas por medio de aparatos los cuales pueden ser un sismógrafo o un acelerógrafo que son los más recomendados ya que cuentan con una exactitud del cien por ciento Un sismógrafo registra los movimientos del suelo en las dos direcciones

horizontales y en la vertical. Un sismógrafo ideal sería un instrumento sujetado en una base fija, la cual se ubica afuera de la Tierra. De tal modo las vibraciones generadas por un movimiento del suelo se podrían medir a través de la variación de la distancia entre el instrumento sujetado en la base fija y el suelo. El acelerógrafo es un instrumento para registrar aceleraciones.

Figura 2.7e (Ref. 4)

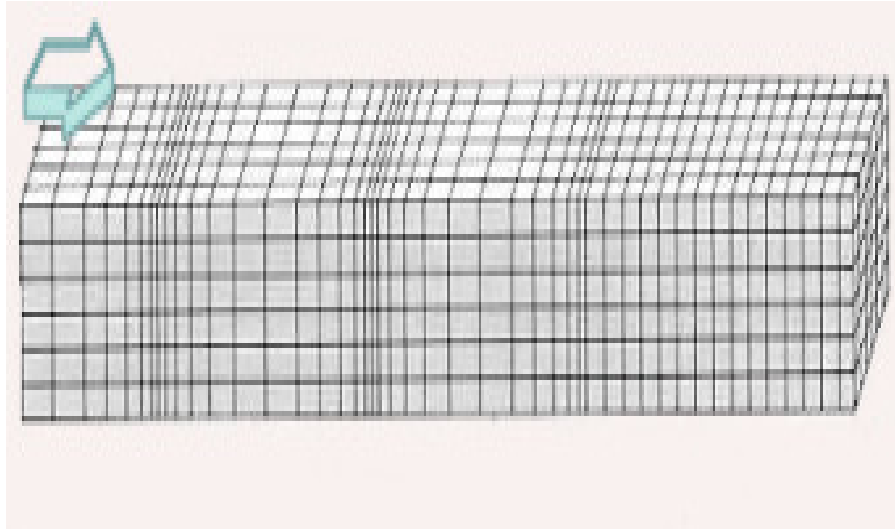


Figura 2.4 Ondas P

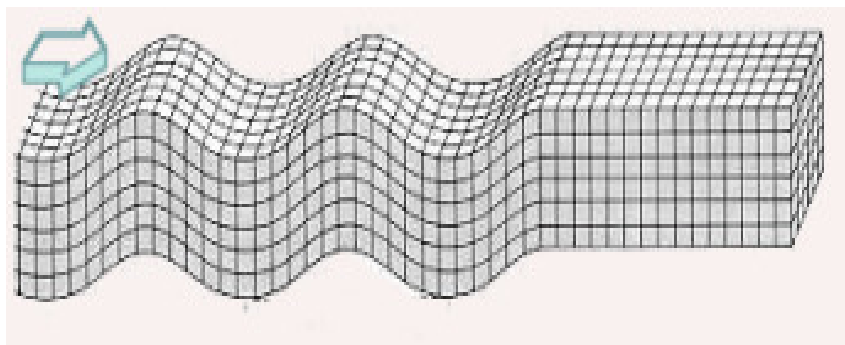


Figura 2.4b Ondas S

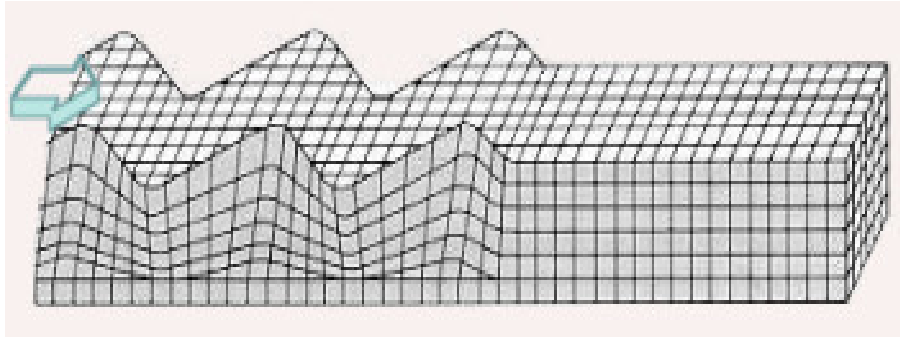


Figura 2.3c Ondas Rayleigh

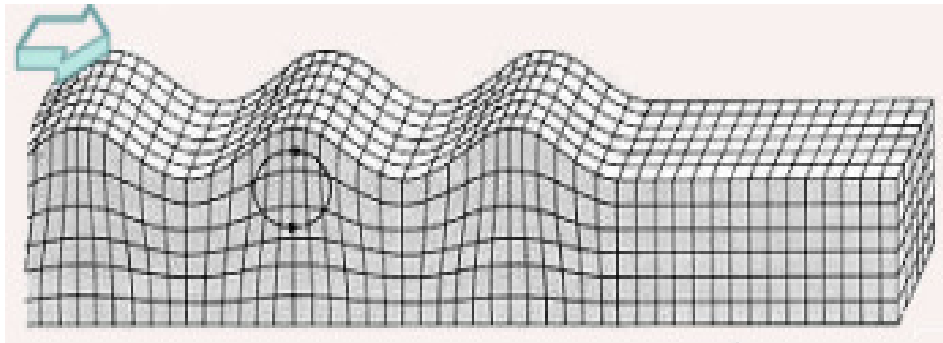


Figura 2.3 Ondas love

Sismógrafos

En realidad, la existencia de los sismógrafos data de los siglos VIII-XI, a mitad del siglo XIX, se inició la construcción de los primeros sismógrafos basados en el principio simple de oscilación de un péndulo. En general, estos péndulos eran de oscilación vertical y consistían en una masa pendiente de un muelle que registra su movimiento usando un estilete adosado a la masa y que dejaba una huella sobre una placa de cristal ahumado. A este tipo de instrumentos se les llamó *sismoscopios* debido a que no contaban con control de tiempo.

Se basa en el principio de inercia de los cuerpos, como sabemos este principio nos dice que todos los cuerpos tienen una resistencia al movimiento o a variar su velocidad. Así, el movimiento del suelo puede ser medido con respecto a la posición de una masa suspendida por un elemento que le permita permanecer en reposo por algunos instantes con respecto al suelo. El mecanismo consiste usualmente en una masa suspendida de un resorte atado a un soporte acoplado al suelo, cuando el soporte se sacude al paso de las ondas sísmicas, la inercia de la masa hace que ésta permanezca un instante en el mismo sitio de reposo. Posteriormente cuando la masa sale del reposo, tiende a oscilar. Sin embargo, ya que esta oscilación posterior del péndulo no refleja el verdadero movimiento del suelo, es necesario amortiguarla (**Figura 2.8f**)

La versión del sismógrafo para el registro de los movimientos verticales; en este caso la masa inerte está fija en la punta de una fina lámina ancha, muy flexible verticalmente pero muy rígida horizontalmente. De esta manera la masa se mantiene estática debido a la flexibilidad de la lámina en lo referente al movimiento vertical, pero sigue fielmente los movimientos de la base en sentido horizontal evitando movimiento relativo entre la aguja y el tambor registrador

Como el movimiento del suelo tiene lugar en las tres dimensiones del espacio, los movimientos del suelo también tienen dos componentes horizontales. Para medir este movimiento se requiere de péndulos horizontales que oscilan como una puerta aunque con el eje ligeramente inclinado para lograr un punto de estabilidad. El movimiento del suelo con respecto a la masa se efectuaba en los primeros instrumentos por medio de una pluma o estilete que inscribía sobre un tambor giratorio. Después se introdujo la inscripción sobre película o papel fotográfico de un haz de luz reflejado en la masa o sistema amplificador del sismógrafo (**Figura 2.9g**). Actualmente existen sismógrafos que detectan el movimiento de la masa electrónicamente y lo digitalizan para ser almacenado en cinta magnética u otros medios de almacenamiento digital.

Es oportuno aclarar que cada instrumento, dada su frecuencia natural de oscilación y su sistema de magnificación, detecta a cada una de las muchas frecuencias que componen una onda sísmica de diferente manera y es necesario conocer con detalle que magnificación le da el instrumento a cada una para calcular el movimiento real del suelo a partir de los sismogramas. Si esta información se ha determinado para un instrumento dado se dice que este está calibrado o que se conoce la respuesta del instrumento. En este sentido se dice que un sismómetro es un sismógrafo que ha sido calibrado. Al presente, los sismómetros más avanzados son los llamados de banda ancha que hacen posible obtener un registro digital de movimientos con un gran intervalo de frecuencias ya que fueron diseñados para detectar un intervalo grande de frecuencias con la misma respuesta.

Otro tipo de instrumentos emparentados con los sismógrafos y que son muy utilizados en sismología e ingeniería son los acelerómetros, instrumentos con el mismo principio del sismómetro pero diseñados para responder a la aceleración del terreno más que a su velocidad o a su desplazamiento. Para finalizar esta sección es oportuno mencionar que para determinar con

precisión el epicentro de un temblor así como otras de sus características, se requiere del auxilio de varias estaciones sismológicas. Una serie de sismógrafos arreglados para observar la sismicidad de una región es conocida como una red sismológica.

En nuestro país el Servicio Sismológico, organismo encargado de la observación sismológica en el territorio Nacional, opera la Red Sismológica Mexicana. Además de esta existen otras redes locales o de investigaciones específicas como RESNOR, la red sismológica del noroeste perteneciente al Centro de Investigación Científica y Enseñanza Superior de Ensenada y RESCO la red sismológica del Estado de Colima perteneciente a la Universidad de Colima y operada por su Centro de Investigación en Ciencias Básicas.

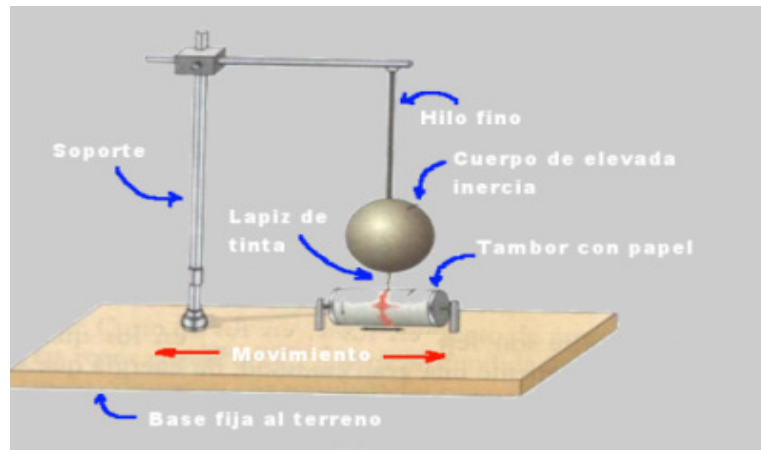


Figura 2.8f Muestra un esquema del mecanismo del sismógrafo que se usa para registrar los movimientos horizontales de la tierra durante un sismo

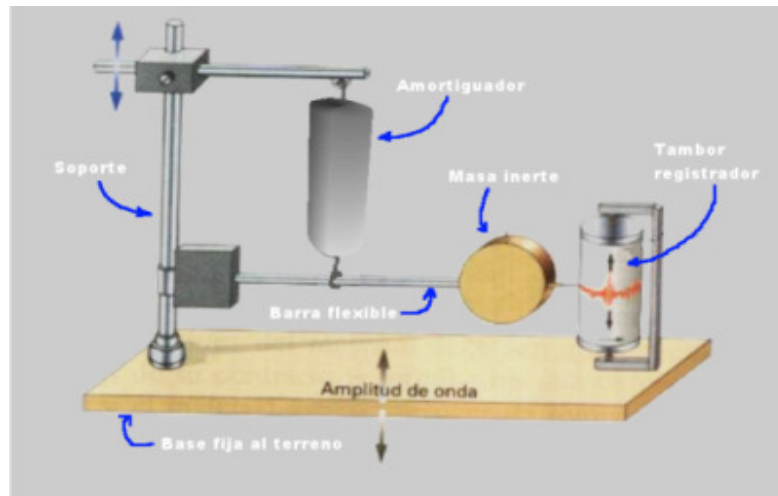


Figura 2.9g Muestra un esquema del sismógrafo para el registro de los movimientos verticales

Acelerógrafos

En las proximidades del hipocentro de un sismo, el paso de las ondas sísmicas produce desplazamientos, velocidades y aceleraciones elevadas dependiendo de la magnitud del sismo y de su distancia epicentral. Esta zona llamada "campo cercano" es de interés para ingeniería sísmica ya que aquí se producen los mayores daños en las estructuras. Debido a las altas frecuencias que se generan (0.05-0.10 segundos) solo pueden ser registrados correctamente con los acelerógrafos. Este sistema no registra en continuo y generalmente se activa al ser excitado por una onda sísmica que se registra a alta velocidad en película, cinta magnética o disco digital. Durante el registro de la aceleración de un sismo, paralelamente se realiza el registro del tiempo. A partir de esta información puede obtenerse mediante integración registros en velocidad y desplazamiento en el campo próximo.

Un acelerógrafo no es lo mismo que un sismógrafo. El acelerógrafo registra la aceleración del suelo durante un terremoto. Estos aparatos son utilizados

en análisis de movimiento fuerte (grandes sismos) ya que han sido diseñados para resistir tales sacudidas. Estos instrumentos permiten, entre otros:

1. Estimar el valor máximo de aceleración del suelo durante un terremoto. Este valor se usa para diseñar estructuras sismo-resistentes.
2. Calcular la duración de movimiento fuerte en el sitio donde se ubica. Por lo general, la duración aumenta conforme aumenta la distancia desde el epicentro.
3. Crear mapas de intensidad instrumental que reflejan los sitios donde la sacudida es más fuerte o más débil.
4. Calcular la respuesta del suelo de manera que se pueda planificar la construcción de estructuras seguras en el futuro.
5. Calcular espectros de diseño y respuesta que eventualmente pueden ser utilizados por el Código Sísmico para regular el tipo de construcción en diferentes zonas sísmicas.
6. Realizar estudios de amenaza sísmica mediante el uso de ecuaciones que predicen el comportamiento de los valores máximos de un terremoto en función de la distancia.

En el presente trabajo se realizaron un total de 40 puntos de vibración ambiental ambos repartidos en la zona de los Tuxtla; 20 puntos se realizaron en la ciudad de Catemaco y 20 en la ciudad de San Andrés Tuxtla, siendo uno de los primeros estudios que se realizan en estas ciudades.

3.- FISIOGRAFIA

3.1.- ANTECEDENTES

Es importante mencionar que en las respectivas ciudades donde se realizaron los estudios, cuentan con diferentes áreas a trabajar; lo cual afecta un determinado porcentaje, ya que para estos tipo de investigaciones es importante saber las condiciones de cada lugar, refiriéndose así de los diferentes tipos de climas que puedan existir en estas ciudades, sin olvidar las temperaturas que en nuestro caso es muy importante ya que mientras allá precipitaciones (lluvia) no es posibles realizar estas campañas, por lo delicado que es el equipo con el que se trabaja.

El clima que predomina en la ciudad de Catemaco es comprendido como “tropical húmedo”, y por su ubicación geografía está influenciado por la sierra de Santa Martha, esto ocasiona que los vientos y las temperaturas no sean extremas. **(Ref. 1)**

Es particularmente interesante mencionar que lo anterior no ocurre con los otros dos municipios que forman la región de los Tuxtla (San Andrés y Santiago Tuxtla), ya que estos, por su particular ubicación son influenciados por el volcán de San Martín, que los coloca dentro de la zona de los vientos predominaste del norte y los alisios. Este fenómeno tan particular es interesante si consideramos que solo hay 12 km de distancia entre la ciudad de San Andrés y Catemaco, además se encuentra a diferencia de metros sobre el nivel del mar (msnm): 361 y 350 metros respectivamente.

La temperatura de esta ciudad es variada desde un mínimo de 16^oc, media de 25^oc, y máxima de 34^oc, generalmente se considera al mes de mayo como el mes más cálido con 27^oc y al de enero como el más frío con 19^oc, estas temperaturas varían con relación del relieve de la sierra, estableciendo zonas con micro climas dentro del municipio. **(Ref. 1)**

Los meses más lluviosos son: junio, julio, agosto, septiembre, octubre, debido al periodo se cuenta en el municipio con unos meses soleados que son entre mayo y abril con temperaturas entre los 24^oc y 27^oc, se estima que actualmente en la ciudad de Catemaco se dan 150 días de sol al año.

Debido a las montañas que rodean la sierra de los Tuxtla provoca un fenómeno interesante el cual es los diferentes climas que hay entre un municipio y otro.

En San Andrés Tuxtla, se encuentra el volcán San Martín por lo cual existe una red fluvial con clima tropical cálido, húmedo; descuidado santuario al que acuden estudiosos de botánica, biología, ecología, biogeografía...etc. Por lo cual la UNAM, en 1987 instalo una estación de biología tropical llamada “los Tuxtla” a 35 km al noroeste de dentro del territorio municipal de San Andrés Tuxtla, y a 33 kilómetros al norte de Catemaco. (**Ref. 2**)

Cuenta con un relieve muy accidentado, de trazo ovoidal con eje mayor a los 78 km y menor de 44 km ubicada en la planicie costera del golfo de México en el sureste de la república mexicana.

La temperatura media anual a sotavento de la sierra van de 25.4^oc a 26.1^oc y en la propia van de 24.1^oc a 26.1^oc.

La precipitación anual de esta parte del sotavento va de 1,200 a 1,700 mm. Y al norte de la sierra es de 3,216mm.

3.2.- GEOLOGIA

La región de los Tuxtla “Catemaco” cuenta con diferentes tipo de suelos ; los cuales la gran parte es laja y las montañas que rodean a Catemaco en la sierra de los Tuxtla, las montañas que se encuentran en Catemaco son; el cerro del mono blanco, así como las animas, Cacahuateno, Escuinapa del Monigote y el Cerro del Cochino su clima es caluroso; de manera general el

suelo está formado por rocas ígneas, sedimentarias, metamórficas, las primeras abundantes y las últimas escasas.

El municipio está formado por 25 ejidos y 4 colonias agrícolas y alrededor de 123 localidades. **(Ref. 1)**

En el tipo de suelo de San Andrés tiene una pequeña diferencia en cada macizo montañoso y pequeños valles, el suelo pasa del castaño al negro, muy fértil ambos; en la parte oeste, desde las laderas de Tonalapan hasta más atrás de Ohuilapan tierra, laja, barro y arena en los macizos del lado oeste, con dos sitios del suelo rojo, amplios yacimientos de barro de este color que permite la alfarería en Texalpan, Xoteapan y San Isidro; en todos estos sitios y en los que adelante se mencionan se han encontrado pedernal.

Existen mantos de piedra negra, gris y azulosa en la parte norte, igualmente la arena de sus ríos y arroyos son de color gris oscuro y solamente, muy al sur del municipio, su arena y grava son amarillo claro e intenso, material pétreo muy duro; los mantos de roca azulosa y gris oscuro son volcánicos y es necesario hacer notar, que el Tliltepetl es volcán no apagado sino latente, y que en la parte norte existe un corredor pétreo llamado zanja de piedra, material cuya cantidad no permite la agricultura; en la parte central del municipio existió mucha piedra de cal en los puntos de Calería y Miltepec; y existen mantos de gran espesor de cal, en el macizo periconal

Su suelo variado dentro del Acrisol y Litosol, sus características es la acumulación de arcilla, pobres en nutrientes, con vegetación de selva y bosque y susceptibles a la erosión. 75% se considera de uso agrícola; el 18% es de uso habitacional; el 5% de uso comercial y el 2% es de uso para espacios públicos. **(Ref. 2)**

3.3.- TOPOGRAFIA

La ciudad de Catemaco cuenta con una topografía muy variada y extensa por lo cual su topografía es positiva en la planicie costera del golfo de México, motivada por una gran actividad volcánica que se inicio en el terciario y prosiguió en el plioleistoseno. **(Ref. 1)**

Las elevaciones más importantes originadas de las emisiones volcánicas son el volcán de San Martín con 1,780 metros de altura .la sierra de Santa Martha con 1,650 metros, en el volcán de San Martín Pajapan con 1.145 metros, el Campanario con 1,180 metros y el cerro de Vigía dentro de la estación de biología tropical de la UNAM con 530 metros.

Hacia el litoral predominan las playas bajas con cordones de dunas interrumpidos por los acantilados rocosos de macizo.

De manera general la región está casi totalmente cubierta por depósitos piro plásticos y derrame de lava basáltica en los cuales aparecen ventanas esporádicas de sedimentos marinos del terciario. Se considera que existen los siguientes centros de erupción independiente: centro de la vigía de Santiago Tuxtla, volcán de San Martín Pajapan, el volcán de Santa Martha y además de 6 centros menores de erupción.

San Andrés Tuxtla hasta ahorita no cuenta con estudios topográficos.

3.4.- HIDROLOGIA

La región de Catemaco se localiza entre las grandes zonas aluviales formadas por las cuencas de de los ríos del Papaloapan y Coatzacoalcos.

En la vertiente norte, los principales ríos y arroyos son los siguientes;

- Río Maquina

- Rio de Caña

En la vertiente sureste, el Rio Grande de San Andrés, que nace en el lago de Catemaco.

En la zona baja existen numerosos arroyos y ríos con áreas pantanosas, contándose entre los más caudalosos el rio de Coxcoapan, Cuetzalapan, Guazinapan y el Yugualtajapan y que son favorecidos por corrientes que descienden de la sierra.

Debido al origen volcánico de la zona, existen, además arroyos, alrededor de 30 lagunas, siendo las más importantes la de Catemaco.

La ciudad de Catemaco cuenta con un lago y 5 lagunas las cuales son: Laguna de Sontecomoapan 18 kilómetros, Laguna de Axmolapana 1.5 kilómetros, Laguna de Nixtamlayan a 3 kilómetros, Laguna de Chalchoapan a 4 kilómetros y Laguna de Apondala 22 kilómetros de Catemaco **(Ref.) 1**

Existen también 13 cascadas y 5 ríos que desembocan en el lago; el Cuetzalapan, Ahuacapan, Margarita, Pozolapan, y Victoria; 6 ríos que no desembocan en el lago: Yugualtajapan, La Palma. Coxcoapan, Sábalo, Bagre y el Salado. Alrededor de 13 ríos más pequeños que se unen a los ríos más grandes antes mencionados y además de los anterior el municipio posee aguas minerales y termales, siendo las primeras más abundantes de la parte noreste del lago de Catemaco; las más conocidas son las de Coyame, arroyo agrío(con las que se fabrican refrescos), Nanciyaga (mezcladas con lodo para las mascarillas) y las que fluyen en un lado del rio de la comunidad de Dos Amates (usada por los lugareños para beber) y por ultimo tenemos las aguas termales que emanen en la congregación de aguas calientes cerca de Sontecomoapan, las cuales se encuentran sin aprovechamiento. **(Ref. 1)**

La hidrología en la ciudad de San Andrés es completamente diferente ya que las mayorías de los ríos que abundan son diferentes; no hay sitio en todo el municipio en que no se tope un manto acuífero, sin embargo para aprovecharlos se requiere de mucho recursos dado lo quebrado de su topografía; así tenemos desde la zona limítrofe con el golfo de México, arroyos, ríos, lagunas, ameyallis (nacimientos de agua que corre a unirse a otras venas acuíferas).

Desde el noroeste del inicio limítrofe en el punto llamado “ punta puntillas de piedra “ en los arenales del golfo de México, donde parte la limitación de san Andrés Tuxtla, comienza los rio, con el “ Rio Salinas” que nacen al lado norte del poblado Salinas, Roca Partida cuyo caudal amplio y fuerte atraviesa al lado este de San Juan de la Gloria, se sigue hasta el norte del poblado Nueva Victoria y se adentra hasta la sierra de San Martín que forma parte de la faja llamada de sotavento. **(Ref. 2)**

Los ríos, y lagunas que se encuentra en San Andrés Tuxtla son los siguientes:

- Rio los Manantiales
- Rio Toro Prieto
- Arroyo de Liza
- Rio Tejalate
- Rio Tuxtla
- Rio Ohuilapan
- Laguna Encantada
- Laguna Xigama
- Rio Matacapán
- Rio Sihuapan
- Rio Chuniapan

Son los ríos y nacimientos más importantes pero en las comunidades ejidales, nacen arroyuelos de agua limpia que desgraciadamente, al unirse a mayores, sus aguas se contaminan con basura que arrastran al desembocar en ellos, redes de aguas negras de poblaciones como Tepanca, Cocal, la ciudad de San Andrés Tuxtla y colonias circundantes. San Andrés Tuxtla cuenta con cascadas que le dan un glamur a esta ciudad las cuales son:

- Cascada del Cebollal.
- Cascada de Matacapán.
- Cascada Eyipantla

4.- CARACTERISTICAS DINAMICAS DEL SUELO

4.1.- Antecedentes

México es un país que cuenta con un elevado potencial sísmico, ya que las fallas más importantes pasan por el continente y esto afecta de manera muy considerable al suelo-estructura. La coordinación de instrumentación sísmica ha puesto gran interés en el desarrollo de investigaciones para localizar en que zonas se dan con mayor frecuencia los sismos.

La instrumentación y estudio de la actividad sísmica en México, se remonta a principios del siglo, al crearse en 1910, el servicio sismológico nacional del observatorio de Tacubaya en la ciudad de México.

En 1960, el instituto de ingeniería de la universidad nacional autónoma de México, instaló dos acelerógrafos Akashi-Smac b, para registrar movimientos intensos en la ciudad de México. Fueron de los primeros aparatos de este tipo en México. Uno de ellos se colocó en la alameda central y otro en ciudad universitaria. Con ellos se obtuvieron valiosos acelerógrafos de los temblores de Acapulco de mayo de 1912.

Para 1983 se operaban ya 39 acelerógrafos digitales, número que se incrementa a 70 en 1985.

Un punto culminante en la historia de la instrumentación sísmica en México lo marcan los macro sismos de septiembre de 1985; 20 aparatos de este sistema estuvieron en operación en la zona epicentral al ocurrir los trágicos eventos de 1985; son varios los métodos para estimar los efectos de sitio con fines de microzonificación, los cuales se dividen en dos grupos dependiendo el tipo de material que se trabajan:

- Métodos teóricos: son aquellos que se basan en modelos matemáticos.
- Métodos empíricos: se basan en el análisis de registros de movimientos fuertes, débiles y de vibración ambiental.

4.2.- EFECTOS DE SITIO

El efecto de sitio está muy relacionado con la formación de los depósitos geológicos. Sin embargo, no depende de la clasificación geológica ya que se puede encontrar diferentes formas espectrales en una misma zona geológica.

La clasificación de terrenos con fines de diseño sísmico nace con la necesidad de tomar en cuenta el efecto de sitio en el diseño de estructuras y ser parte de los reglamentos de construcción. Los reglamentos de construcción mexicanos atienden los efectos de sitio clasificando el terreno en tres tipos, con base en el periodo dominante y la velocidad de onda de corte del suelo.

El uso más valioso de la evaluación de efectos locales para aplicar a una microzonificación sísmica es el que resulta del empleo directo de registros de

movimientos sísmicos fuertes que emplea la razón espectral de espectros de Fourier de registros de temblores (razón espectral estándar) obtenidos simultáneamente en estaciones ubicadas sobre suelo blando respecto a una estación de referencia ubicada en suelo firme (libre de efectos de sitio), debido que incluyen algunos tipos de efectos no lineales y amplios contenidos frecuenciales. Esta es una técnica comúnmente utilizada para regiones de moderada a alta sismicidad para la cual se toman en cuenta las características topográficas y geológicas de la zona de estudio para estimar los efectos locales. Esta técnica evalúa una relación de espectros como de entrada/salida supone que el suelo es un sistema lineal; para tal técnica es necesario tener registros de un sismo en suelo rocoso libre de efectos de sitio que se utiliza como estación de referencia, el cual es tomado como señal de entrada. La señal de salida se toma como los registros en la superficie del suelo en diferentes estaciones colocadas en zonas estratégicas. Teniendo ambos registros, se procede a estimar la función de transferencia de cada una de las estaciones, y se evalúa la relación de los espectros de salida/ entrada. Este cociente se define como la razón de espectro de amplitudes de Fourier entre ambas estaciones -la estación de referencia contra la estación en la superficie y se comparan las diferentes relaciones de cada una de las estaciones que se hayan utilizado. **(Ref. 6)**

Aunque durante las últimas décadas ha aumentado la instrumentación de movimientos fuertes y se ha mejorado la calidad de los equipos, en países poco desarrollados como México todavía es muy rara la instalación de éstos; además, el registro de temblores fuertes con un arreglo de acelerógrafos nos lleva a un mayor tiempo de espera, lo que dificulta este tipo de evaluación, ya que temblores mayores ($M_s > 7$) no son tan frecuentes como los débiles. Históricamente, sólo en casos excepcionales, la observación de movimientos sísmicos fuertes ha permitido dibujar mapas de zonificación, por lo que se han utilizado los movimientos sísmicos débiles y registros de microtemblores

para la caracterización de un sitio, con lo que se demuestra su buena correlación.

Los métodos de relación espectral que usan datos de movimientos débiles han sido aceptados ampliamente para estudios de efecto de sitio, por lo que una buena alternativa es utilizar razones espectrales de temblores débiles. No obstante, esta técnica presenta un problema en zonas urbanas, debido al alto nivel de ruido ambiental provocado principalmente por tráfico vehicular, limitando el período de obtención de registros útiles a las horas en las que el ruido disminuye (por ejemplo, en la madrugada), lo que aumenta a su vez el tiempo del trabajo de campo. **(Ref. 6)**

4.3.- TECNICA DE NAKAMURA

Nakamura (1989), propuso que las microtrepidaciones podían evaluar los efectos de sitio simplemente evaluando el radio o cociente espectral entre las componentes horizontales y verticales del movimiento registrado en un mismo sitio. El método asume que:

1. Las microtrepidaciones consisten de ondas Rayleigh propagándose en una capa que está encima de un espacio infinito.
2. El movimiento es totalmente debido a fuentes locales y todas las fuentes profundas son despreciadas.
3. Las fuentes locales no afectan el movimiento de las microtrepidaciones en la base del estrato de suelo. Considerando un estimativo de los efectos de sitio de interés, estarían dados por:

$$SE = Hs(w) / Hb(w) \quad (1)$$

Donde SE representa el espectro de los efectos de sitio, $Hs(w)$ es el espectro de la onda horizontal en superficie y $Hb(w)$ es el espectro de la onda horizontal en la base del movimiento. Puesto que las ondas internas de las microtrepidaciones contienen ondas de superficie es necesario corregirlas removiendo los efectos de ondas superficiales. Nakamura asume que el efecto de las ondas Rayleigh (AS), está incluido en el espectro de ondas verticales superficiales (VS) y no en la base del movimiento (Vb) y consecuentemente, éste puede ser definido como:

$$AS(w) = Vs(w) / Vb(w) \quad (2)$$

Removiendo el efecto de ondas Rayleigh, el espectro de sitio modificado queda definido por:

$$SM(w) = SE(w) / AS(w) = (HS/VS) / (Hb/Vb) \quad (3)$$

Nakamura demostró experimentalmente usando registros de borehole y microtrepidaciones que:

$$Hb(w) / Vb(w) \quad (4)$$

De lo anterior queda que:

$$SM(w) \gg HS(w) / VS(w) = NS(w) \quad (5)$$

De esta manera, Nakamura concluyó que el radio o cociente espectral entre la componente horizontal y vertical del movimiento en un mismo sitio puede ser usada como un estimativo de los efectos de sitio para ondas internas. La técnica de Nakamura es muy atractiva, ya que elimina los efectos de fuente,

“mapa preliminar de familias espectrales con fines de microzonificación sísmica de la ciudad de Catemaco y San Andrés Tuxtla.

patrón de radiación, directividad y camino que se presentan en los sismos. Sin embargo, la validez de la técnica de Nakamura no ha sido aun bien establecida, especialmente en estratos de suelos blandos muy profundos. **(Ref. 6)**

4.4.- VIBRACION AMBIENTAL

4.4.1.- Características de los equipos

Para la realización de este proyecto se utilizo un acelerógrafo modelo ETNA marca Kinematics Inc, con solución de 18 bits a 200 mps, rango dinámico de 108 dB a 200 mps acelerómetro tipo axial, modelo episensor, con escala completo de 1.0 g adaptador externo de tipo GPS y con dos tarjetas de memoria extraíble tipo PCMCIA flash ed. 64 Mb, respectivamente. **(Tabla 4.4). (Ref. 7)**

Tabla 4.4 Principales características del acelerógrafo Etna Strong Motion accelerograph de kinometrics (datos obtenidos de los manuales dados por el fabricante).

TIPO	PROCESADOR DIGITAL DE SEÑALES DE 24 BITS
NUMERO DE CANALES	3 CANALES, 1 OPCIONAL
RANGO DINAMICO	108 DB A 200 MPS
RESPUESTA EN FRECUENCIA	CD-73 HZ A 200 MPS
RESOLUCION	18 BITS A 200 MPS
RUIDO	MENOS DE 8MV RMS
TASA DE MUESTREO	100,200,250 MPS POR CANAL
RANGO DE ENTRADA	2.5V
RANGO DE DISPARO	0.01%-100% DE LA ESCALA COMPLETA EN CADA CANAL
AMORTIGUAMIENTO	70%.
RANGO DE DISPARO	0.1 HZ A 12.5 HZ
TIEMPO DE PRE-EVENTO	30 SEGUNDOS
TIEMPO DE POST-EVENTO	0 A 65,000 SEGUNDOS
TAMAÑO DE MEMORIA	2 MB DE RAM
MEMORIA EXPANDIBLE	2 SLOTS PARA PCMCIA DE 2,4,8,16,32,64,128 MB
BATERIA INTERNA	12.5 V,6.5 AH PARA 36 HORAS
ADAPTADOR EXTERNO DE TIEMPO	CONEXIÓN PARA GPS
DIMENSIONES	256X 381X178 MM
PESO	9 KG INCLUYENDO LA BATERIA INTERNA
TEMPERATURA DE OPERACIÓN	DE 20 A 70°C
MODEM	INTERNO
VELOCIDAD DE BAUD	1,200-2,400-4,800,9,600-19,200-38,400-57,600.
ALARMA	0.1% A 100% DE LA ESCALA COMPLETA
SOFTWARE	COMPATIBLE CON MICROSOFT WINDOWS

4.5.- ANALISIS DE DATOS

4.5.1.- Registros de vibración ambiental

La medición de vibración ambiental se realizó en 40 sitios diferentes de distintas ciudades (Catemaco y San Andrés Tuxtla). Tabla 4.5 que es donde se muestra donde se colocó el acelerógrafo. En esta tabla se nos da un número para cada sitio, así como las coordenadas UTM.

Los archivos que nos dan los acelerógrafos son archivos con la extensión evt. Estos registros se pueden ver mediante el software Quick Look, de tal manera que se abren tres canales a la vez. Para posteriormente aplicar la técnica de Nakamura, de cada registro se dividió en tres canales, por medio de la subrutina (kwasc), que permite transformar el archivo evt, en tres archivos ASCII. Estos tienen la extensión 001 y conforme hay más archivos crece la extensión, la extensión 001 representa E-W, el archivo con extensión 002 representa el canal N-S y el archivo con extensión 003 representa el canal z. **(Ref. 7)**

Los archivos ASCII, se pueden leer con el programa Degtra A4, donde en este mismo se abren tres ventanas, que permiten abrir cada una de ellas una de los tres canales de registro de cada punto a procesarse.

Teniendo ya los registros en el programa Degtra A4, se procedió a seleccionar ventanas de 40 segundos, la primera ventana de 1-40 segundos, la segunda ventana es de 40-80 segundos, la tercera ventana es de 80 a 120 segundos.

Para cada registro lo cual demora un tiempo de dos minutos se obtuvieron tres ventanas cada una de ellas de 40 segundos. Para cada ventana de los canales horizontales se obtuvo el espectro de Fourier de tal manera que este se dividió entre el espectro de Fourier del canal vertical correspondiente. La

razón de dividir de dividir el espectro de Fourier de una ventana de un canal horizontal entre le espectro de Fourier de la ventana correspondiente del canal vertical se conoce como razón espectral.

De tal manera que para cada registro de 2 minutos en campo, tenemos 3 razones espectrales en el sentido E-W, que resultado de dividir los espectros de Fourier de cada ventana en el sentido E-W entre las respectivas ventanas del canal vertical. Tendremos también 3 razones espectrales para cada registro de 2 minutos que se obtiene de dividir los espectros de Fourier de cada ventana en el sentido N-S, entre las respectivas ventanas del canal vertical.

Para cada sitio de campo se obtuvieron 6 registros, de 2 minutos cada una. De estos se seleccionaron 4 que presentaran menos alteración por ruido generado por pasos de personas, automóviles, al momento de tomar la muestra. De tal manera que se tiene 3 razones espectrales para E-W y 3 razones espectrales de N-S por cada una de las 4 muestras, es decir 12 razones espectrales en el sentido E-W y 12 en el sentido N-S.

Posteriormente se procede a obtener el promedio de las 12 razones espectrales de los 4 registros en la dirección E-W, así como el promedio de las 12 razones espectrales en la dirección N-S. Esta grafica contiene las razones espectrales en el rango de 0.1 a 10 en amplitud y las frecuencias entre 0.1 y 10 hz. **Figura 4.5 y Figura 4.5^a.**

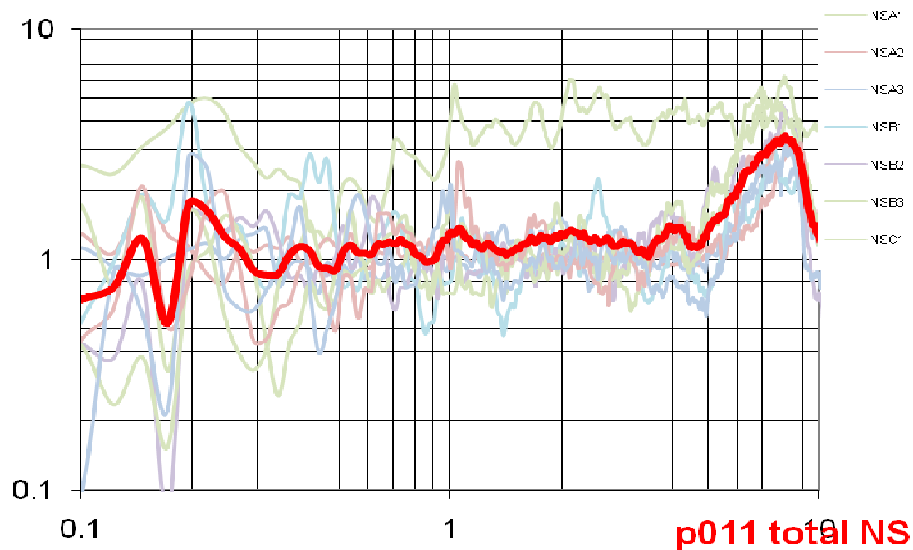
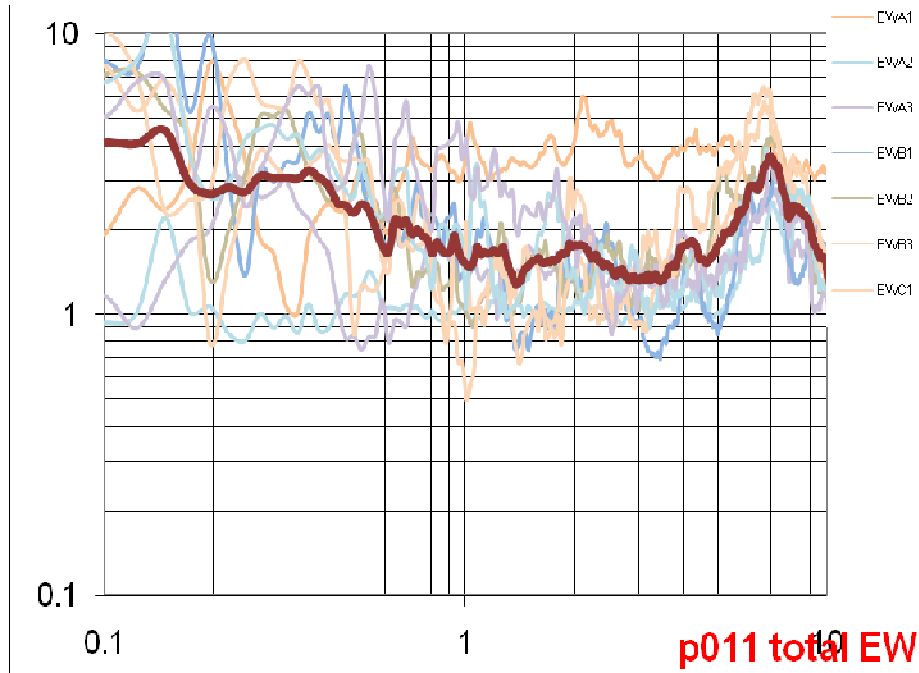
Tabla 4.5 Ubicación en coordenadas latitud, longitud de los puntos medidos con vibración ambiental en la ciudad de San Andrés Tuxtla.

Punto	Campaña	Ubicación	Latitud	Longitud
1	1	CALLE SANTA BARBARA Y 20 DE OCTUBRE	18.4232500	95.9895000
2	1	CALLE FRANCISCO MARQUEZ Y 15 DE MAYO	18.4256333	95.1036660
3	1	CALLE ZAMORA ESQ. JALISCO	18.4183555	95.1026666
4	1	CALLE MATAMOROS ,ESQUINA MATAMOROS	18.4184283	95.1007666
5	1	CALLE MELCHOR OCAMPO Y MORELOS	18.4493571	95.9778333
6	1	CALLE NICOLAS BRAVO, ESQUINA JAVIER MINA	18.4189500	95.1080833
7	1	CALLE REVOLUCION, ESQUINA EMILIANO ZAPATA	18.4382166	95.1056500
8	1	CALLE MELCHOR OCAMPO ESQUINA PASA DE OVEJAS	18.4290666	95.1066833
9	1	CALLE FRANCISCO VILLA ESQ. PRIVADA LOS MAESTROS	18.4263833	95.1100666
10	1	CALLE ITURBIDE ESQ.GUILLERMO PRIETO Y JUAN USCANGA	18.4213666	95.1107833
11	1	CALLE PROGRESO CASI ESQUINA VENUSTIANO CARRANZA	18.4238833	95.1078000
12	1	CALLE FRANCISCO VILLA ESQ. IGNACIO ALLENDE	18.4290833	95.1154000
13	1	PROLONGACION ABASOLO ESQ. ARENAL	18.4311166	95.1112333
14	1	CALLE 6 DE ENERO Y MANZANOS	18.4366166	95.1156833
15	1	CALLE XOCHIGUETZAL ESQ.LIRIOS	18.4319000	95.1225833
16	1	CALLE FRANCISCO VILLA CASI ESQ.ADOLFO LOPEZ MATEOS	18.4212183	95.1216333
17	1	CALLE JICACA ENTRE BALSAPOTE Y CAMINO A TEPETAPAN	18.4201516	95.1250833
18	1	CALLE CUATEMOC ENTRE LIBERTAD Y DEMOCRACIA	18.4179500	95.1172000
19	1	CALLE 5 DE MAYO ESQ.UNION	18.4203000	95.1154300
20	1	CARRETERA COSTERA DEL GOLFO KM 145	18.4267666	95.1239330

Tabla 4.5a Ubicación en coordenadas latitud, longitud de los puntos medidos con vibración ambiental en la ciudad de San Andrés Tuxtla.

Punto	Campaña	Ubicación	Latitud	Longitud
1	1	CALLE SANTA BARBARA Y 20 DE OCTUBRE	18.423250 0	95.989500 0
2	1	CALLE FRANCISCO MARQUEZ Y 15 DE MAYO	18.425633 3	95.103666 0
3	1	CALLE ZAMORA ESQ. JALISCO	18.418355 5	- 95.102666 6
4	1	CALLE MATAMOROS ,ESQUINA MATAMOROS	18.418428 3	95.100766 6
5	1	CALLE MELCHOR OCAMPO Y MORELOS	18.449357 1	95.977833 3
6	1	CALLE NICOLAS BRAVO, ESQUINA JAVIER MINA	18.418950 0	95.108083 3
7	1	CALLE REVOLUCION, ESQUINA EMILIANO ZAPATA	18.438216 6	95.105650 0
8	1	CALLE MELCHOR OCAMPO ESQUINA PASA DE OVEJAS	18.429066 6	95.106683 3
9	1	CALLE FRANCISCO VILLA ESQ. PRIVADA LOS MAESTROS	18.426383 3	95.110066 6
10	1	CALLE ITURBIDE ESQ. GUILLERMO PRIETO Y JUAN USCANGA	18.421366 6	95.110783 3
11	1	CALLE PROGRESO CASI ESQUINA VENUSTIANO CARRANZA	18.423883 3	95.107800 0
12	1	CALLE FRANCISCO VILLA ESQ. IGNACIO ALLENDE	18.429083 3	95.115400 0
13	1	PROLONGACION ABASOLO ESQ. ARENAL	18.431116 6	95.111233 3
14	1	CALLE 6 DE ENERO Y MANZANOS	18.436616 6	95.115683 3
15	1	CALLE XOCHIGUETZAL ESQ. LIRIOS	18.431900 0	95.122583 3
16	1	CALLE FRANCISCO VILLA CASI ESQ. ADOLFO LOPEZ MATEOS	18.421218 3	95.121633 3
17	1	CALLE JICACA ENTRE BALSAPOTE Y CAMINO A TEPETAPAN	18.420151 6	95.125083 3
18	1	CALLE CUATEMOC ENTRE LIBERTAD Y DEMOCRACIA	18.417950 0	95.117200 0
19	1	CALLE 5 DE MAYO ESQ. UNION	18.420300 0	95.115430 0
20	1	CARRETERA COSTERA DEL GOLFO KM 145	18.426766 6	95.123933 0

Figura 4.5 Promedio de las razones espectrales a partir de las 4 medidas de la vibración ambiental tomadas en cada punto (punto 011). La coordenada es la amplitud y la abscisa es la frecuencia en Hz. La primera grafica en dirección E-W y la segunda N-S



4.5.1.1.- INTERPRETACION DEL PROMEDIO DE RAZONES ESPECTRALES

La razón espectral promedio para cada dirección nos permite conocer la forma de vibrar del suelo.

Donde se presenta el pico máximo de la razón espectral es la frecuencia que nos permiten obtener el periodo de vibración del suelo. A continuación se dan ejemplos de cómo interpretar estos cocientes espectrales.

En el punto p011 promedio de las razones espectrales en ambos sentidos tienen un pico que coinciden en un mismo rango de frecuencias esto indica que la vibración del suelo en ambas direcciones es la misma.

Cuando se presenta una grafica como la del punto p017 donde el promedio de las razones espectrales es menor que uno, se puede decir que el suelo tiende a ser rígido y no presenta amplificación. También existe la posibilidad que el estrato blando sea muy profundo.

En los casos donde tenemos una mayor amplitud en las direcciones E-W como en el caso del punto p002 se debe de tomar como la amplitud relativa la mayor.

En la tabla 4.5.1.1 y 4.5.1.1a se presentan las frecuencias, periodos y amplificaciones para cada uno de los puntos en que se tomo la vibración ambiental. En los casos donde no se tiene una amplitud definida o está por debajo de uno se puede decir que dicho sitio tiende a ser rígido o suelo estable. En los casos donde se tengan estudios geotécnicos se deben comparar con estos, debido a que existe la posibilidad que en dicho sitio este un estrato blando profundo.

Tabla 4.5.1 Tabla de frecuencias, periodo y amplitud de cada punto medido con vibración ambiental en San Andrés Tuxtla Ver.

Punto	Campaña	Ubicación	Latitud	Longitud	Frecuencia (Hz)	Periodo (seg)	Amplitud
1	1	CARRETERA A TILAPAN (AEROPUERTO)	18.4191361	95.2025222	1.5	0.7	0.1
2	1	AQUILES SERDAN ESQUINA EL COCUITE	18.4343111	95.2174666	2.4	0.4	0.9
3	1	CALLE JAZMIN ESQUINA DALIAS	18.4687611	95.2184888	1.6	0.6	0.1
4	1	CALLE 18 DE MARZO ESQUINA 15 DE MAYO	18.4333611	95.2174388	2.7	0.4	0.2
5	1	CALLE JAZMIN ESQUINA NOCHE BUENA	18.4351305	95.2187833	1.1	0.9	0.1
6	1	CALLE # 13 ESQUINA CATEMACO	18.4500666	95.2174388	3.8	0.3	0.1
7	1	CARRETERA COSTERA DEL GOLFO	18.4354527	95.2333333	1.6	0.6	0.1
8	1	CALLE PALMAS ESQUINA XALAPA	18.4517055	95.2174666	2.7	0.4	0.2
9	1	CAMINO VIEJO A TEPANCA	18.4508472	95.2191944	5.6	0.2	0.8
10	1	CALLE ALVARO OBREGON ESQUINA MARIANO MATAMOROS	18.4345666	95.2022805	4.7	0.2	0.1
11	1	CALLE FRANCISCO BOCA NEGRA ESQUINA JOSE MARIA MORELOS Y PAVON	18.4359305	95.2019500	3.1	0.3	0.8
12	1	CALLE LUZ TENORIO ESQUINA HERNANDEZ Y HERNANDEZ	18.4357556	95.2168916	3.9	0.3	0.9
13	1	CALLE 2 CASI ESQUINA CALLE 3	18.4511250	95.2017555	4	0.3	0.1
14	1	CAMINO A LAGUNA ENCANTADA	18.4502416	95.1858777	6.6	0.2	0.7
15	1	CALLE MARIANO ESCOBEDO ESQUINA 20 DE NOVIEMBRE	18.4355861	95.2015333	7.1	0.1	0.1
16	1	CALLE JUAN DE LA BARRERA ESQUINA CERRADA DE LA BARRERA	18.4345972	95.2010055	3.7	0.3	0.2
17	1	CARRETERA A FOVISSTE Y JUAREZ	18.4336805	95.0000055	1	1.0	0.1
18	1	CALLE ESPUELA ESQUINA MANGANA	18.4338027	95.1847138	1.8	0.6	0.9
19	1	CALLE SOYA ESQUINA ESPIGA	18.4345388	95.1859277	5.2	0.2	0.2
20	1	CERRADA TIERRA Y LIBERTAD	18.4349416	95.2000000	8.7	0.1	0.1

Tabla 4.5.1a Tabla de frecuencias, periodo y amplitud de cada punto medido con vibración ambiental en Catemaco.

Punto	Campaña	Ubicación	Latitud	Longitud	Frecuencia (Hz)	Periodo (seg)	Amplitud
1	1	CALLE SANTA BARBARA Y 20 DE OCTUBRE	18.4232500	95.9895000	2.7	0.4	0.8
2	1	CALLE FRANCISCO MARQUEZ Y 15 DE MAYO	18.4256333	95.1036660	1.3	0.8	1
3	1	CALLE ZAMORA ESQ. JALISCO	18.4183555	95.1026666	3.0	0.3	4.8
4	1	CALLE MATAMOROS ,ESQUINA MATAMOROS	18.4184283	95.1007666	1.5	0.7	1
5	1	CALLE MELCHOR OCAMPO Y MORELOS	18.4493571	95.9778333	5.7	0.2	1.6
6	1	CALLE NICOLAS BRAVO, ESQUINA JAVIER MINA	18.4189500	95.1080833	2.8	0.4	1
7	1	CALLE REVOLUCION, ESQUINA EMILIANO ZAPATA	18.4382166	95.1056500	3.4	0.3	0.7
8	1	CALLE MELCHOR OCAMPO ESQUINA PASA DE OVEJAS	18.4290666	95.1066833	3	0.3	1.1
9	1	CALLE FRANCISCO VILLA ESQ. PRIVADA LOS MAESTROS	18.4263833	95.1100666	2.5	0.4	0.9
10	1	CALLE ITURBIDE ESQ.GUILLERMO PRIETO Y JUAN USCANGA	18.4213666	95.1107833	6.8	0.1	1.2
11	1	CALLE PROGRESO CASI ESQUINA VENUSTIANO CARRANZA	18.4238833	95.1078000	7.5	0.1	3.4
12	1	CALLE FRANCISCO VILLA ESQ. IGNACIO ALLENDE	18.4290833	95.1154000	1.3	0.8	0.9
13	1	PROLONGACION ABASOLO ESQ. ARENAL	18.4311166	95.1112333	3	0.3	1.5
14	1	CALLE 6 DE ENERO Y MANZANOS	18.4366166	95.1156833	3.2	0.3	2
15	1	CALLE XOCHIGUETZAL ESQ.LIRIOS	18.4319000	95.1225833	6.2	0.2	1.5
16	1	CALLE FRANCISCO VILLA CASI ESQ.ADOLFO LOPEZ MATEOS	18.4212183	95.1216333	4	0.3	0.9
17	1	CALLE JICACA ENTRE BALSAPOTE Y CAMINO A TEPETAPAN	18.4201516	95.1250833	3.3	0.3	1.5
18	1	CALLE CUATEMOC ENTRE LIBERTAD Y DEMOCRACIA	18.4179500	95.1172000	5	0.2	1.3
19	1	CALLE 5 DE MAYO ESQ.UNION	18.4203000	95.1154300	9.5	0.1	1.1
20	1	CARRETERA COSTERA DEL GOLFO KM 145	18.4267666	95.1239330	6.8	0.1	2

4.5.1.2 FAMILIAS DE FORMAS ESPECTRALES

La clasificación de los promedios de las razones espectrales se hizo agrupando en familia de razones espectrales de acuerdo a la frecuencia en donde se presenta la máxima amplitud

En Catemaco se encontró una primera familia con rango de frecuencia de 0-4 Hz, y en donde encontramos puntos 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 12, 13, 14, 16, 17.

La segunda familia con rango de frecuencia de 4-7 Hz, y encontramos los puntos: 5, 10, 11, 15, 18, 19, 20.

En San Andrés Tuxtla se encontró una primera familia con rango de frecuencia de 0-4 Hz, en donde encontramos puntos 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 17, 18.

La segunda familia con rango de frecuencia de 4-9 Hz, y encontramos los puntos: 6, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 19, 20.

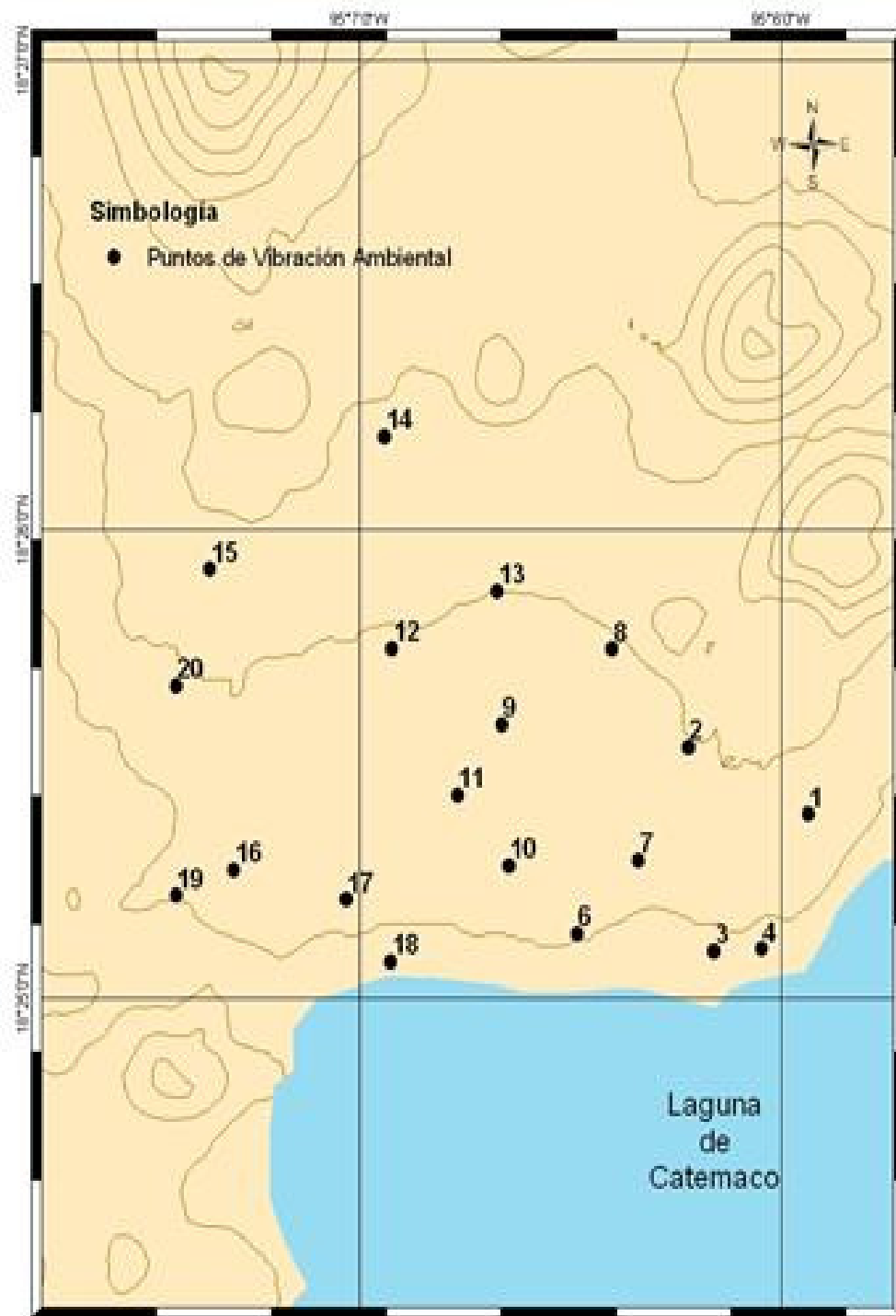
4.5.1.2 FAMILIAS DE FORMAS ESPECTRALES

Los 40 puntos realizados en la zona de los Tuxtla, haciendo 20 puntos en la ciudad de catemaco y 20 puntos en la ciudad de San Andrés. En donde se realizo vibración ambiental. Se dibujaron en un mapa georeferenciado de ambas ciudades.

Los puntos los puntos aparecen con su respectivo número mapa (5.1)-(5.1a)

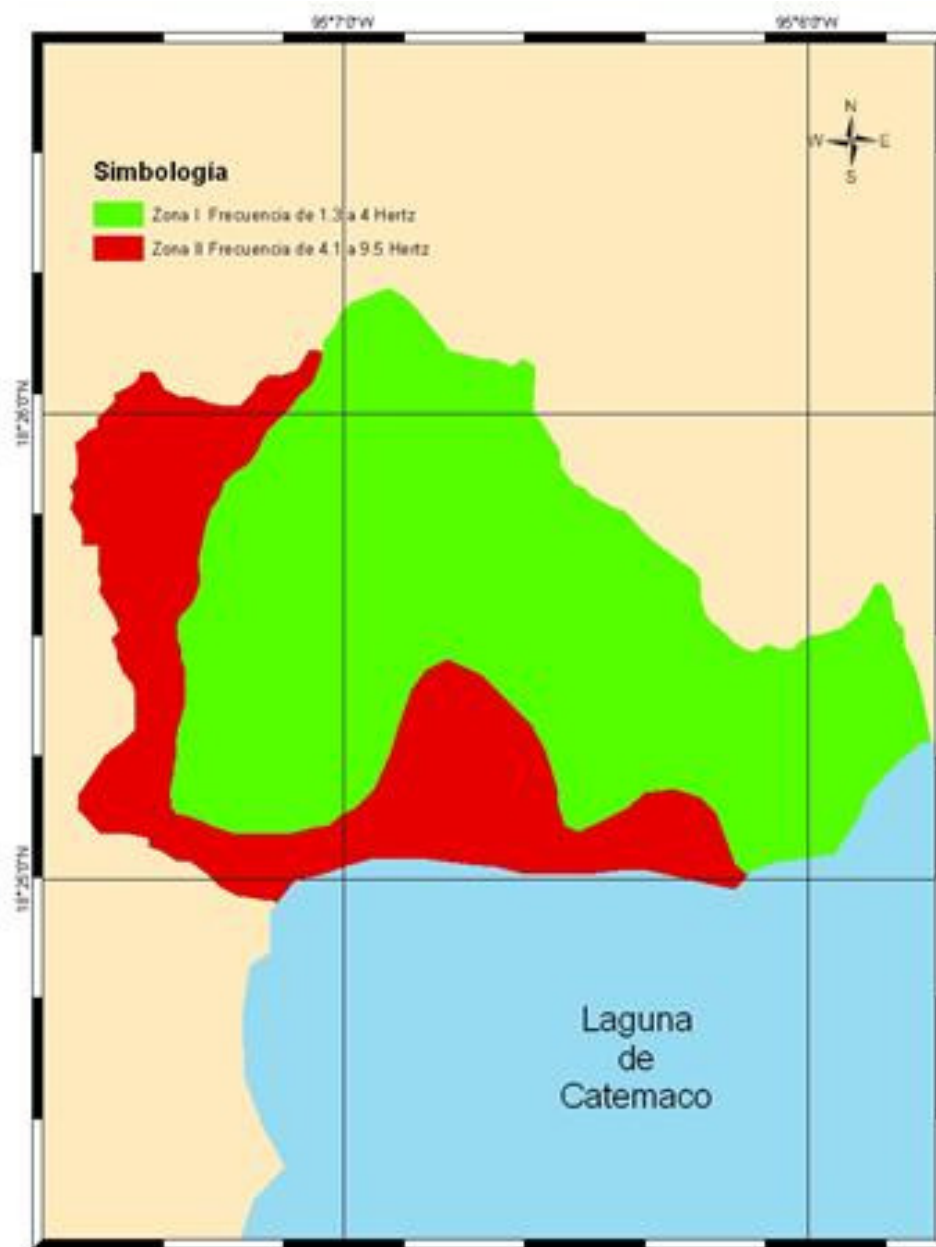
Para obtener el mapa de familias espectrales se clasificaron los 40 puntos de acuerdo a la frecuencia donde se presenta mayor amplitud. Con este se pudieron establecer áreas de igual forma de vibrar tal y como se muestra en el mapa (5.2)

Mapa 5.1 Puntos realizados en la ciudad de Catemaco



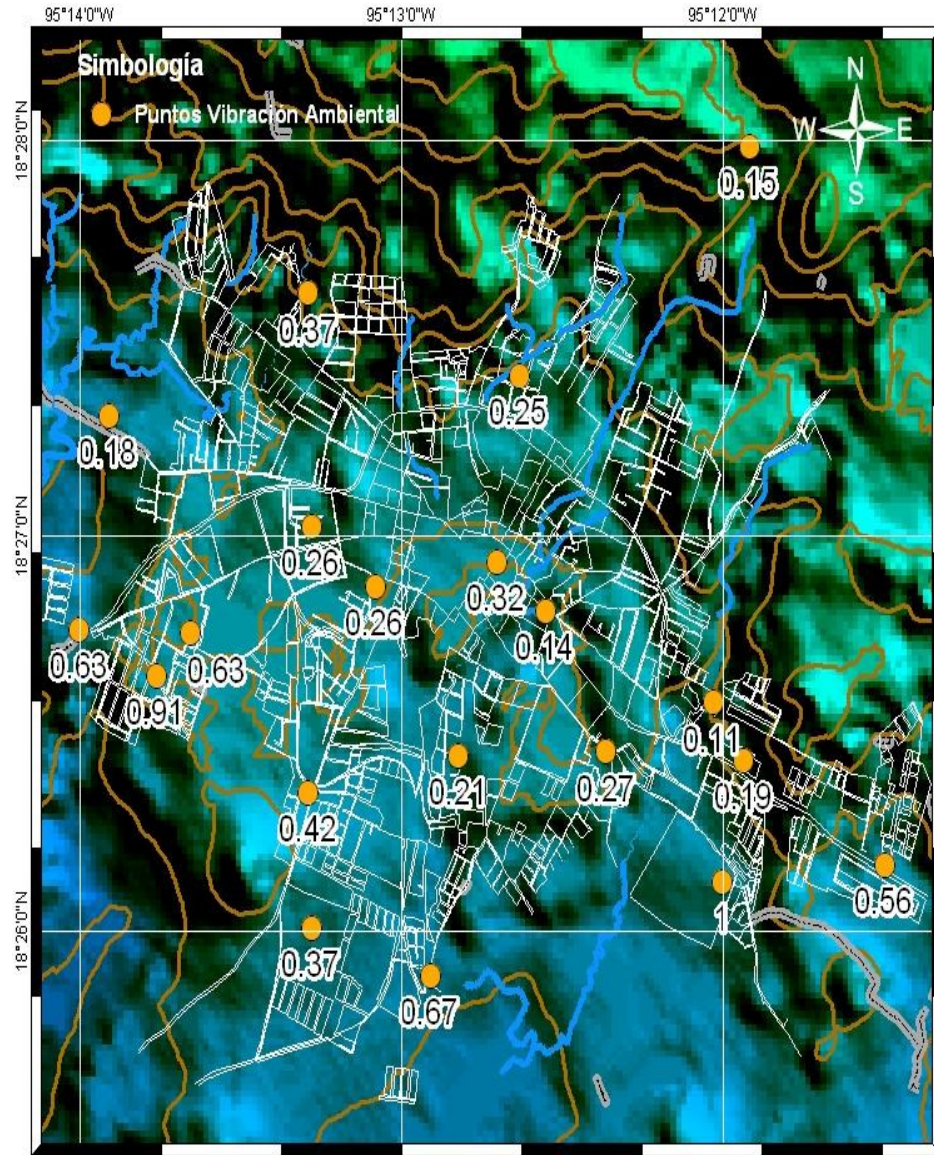
“mapa preliminar de familias espectrales con fines de microzonificación sísmica de la ciudad de Catemaco y San Andrés Tuxtla.

Mapa 5.2 Mapa de microzonificación sísmica con forma de familias espectrales.



“ mapa preliminar de familias espectrales con fines de microzonificación sísmica de la ciudad de Catemaco y San Andrés Tuxtla.

Mapa 5.1a Puntos realizados en la ciudad de San Andrés Tuxtla



6.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se realizaron 40 puntos en la zona de los Tuxtla, 20 en la ciudad de Catemaco y 20 en la ciudad de San Andrés Tuxtla, en donde encontramos el periodo dominante del suelo, utilizando la técnica de Nakamura a partir de los registros de vibración ambiental, así mismo la amplificación relativa estimada con vibración ambiental se tiene un resultado preliminar de la zona. En el futuro el número de puntos podría incrementarse para tener mayor exactitud de la forma de vibrar de los diferentes sitios de las ciudades.

Con los resultados obtenidos en este trabajo se está en la posibilidad de establecer recomendaciones para proyectos y construcciones civiles para la zona, y así tomar medidas preventivas de protección civil.

Se recomienda realizar sondeos geotectónicos a las áreas de expansión de ambas ciudades.

Agradecimientos

Gracias al Ing. Sara Pérez Torres por ayudarme en la obtención de los mapas de la ciudad de Catemaco y San Andrés Tuxtla, ver. Al señor Raymundo González por proporcionarme información de San Andrés Tuxtla, ver, al igual que el H. Ayuntamiento de la ciudad de Catemaco por la información brindada de la ciudad.

REFERENCIAS

1.- **“Monografía histórica, geográfica y estadística del municipio de Catemaco”**. H.Ayuntamiento de la ciudad de Catemaco, Ver.

2.- Gonzalez, R. (1998) **“Monografía física, humana, histórica, geográfica y estadística del municipio de San Andrés, Tuxtla, Ver”**.

3.- **Servicio Nacional Sismológico** (<http://www.ssn.unam.mx>)

4.- Centro Nacional de Sismología

http://khatati.igp.gob.pe/cns/reportes/tipos_sismogr/sismografos/historia.htm

6.- G. Torres, (2008) **“Microzonificación sísmica de la zona conurbada Veracruz y evaluación de la vulnerabilidad sísmica estructural del centro historio”** (tesis doctoral)

7.-Chagala, G. (2009) **“MAPA PRELIMINAR DE FAMILIAS ESPECTRALES DE MICROZONIFICACIÓN SISMICA DE LA CIUDAD DE POZA RICA, VERACRUZ”** Tesis en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Veracruzana

APENDICE I

RAZONES ESPECTRALES

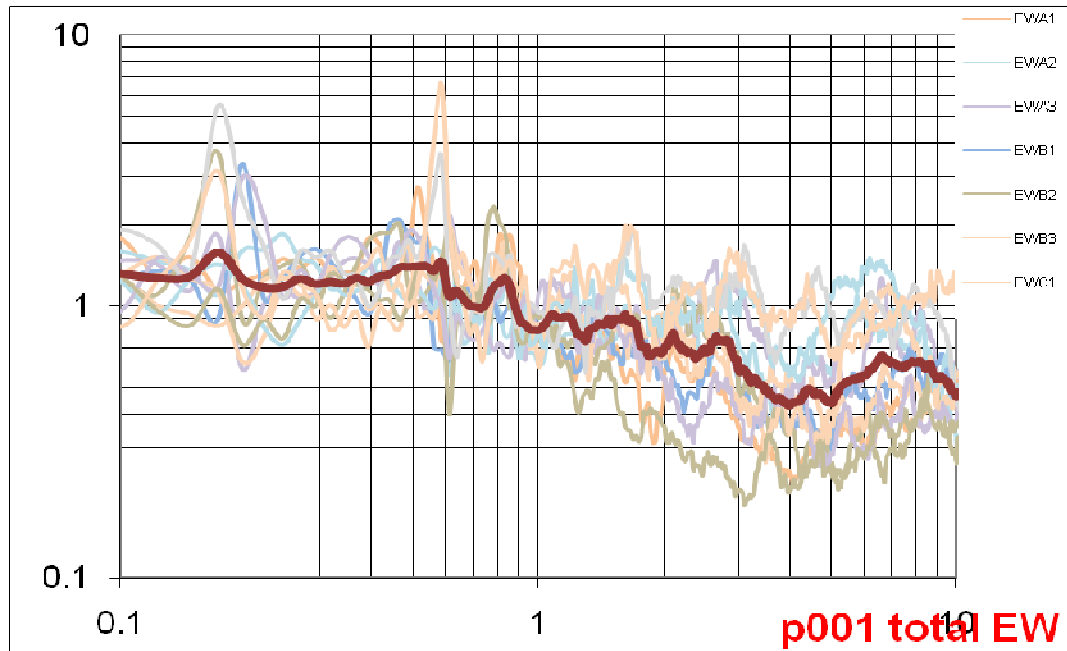
DE LA CIUDAD DE

CATEMACO, VER.

Catemaco

Promedio P001

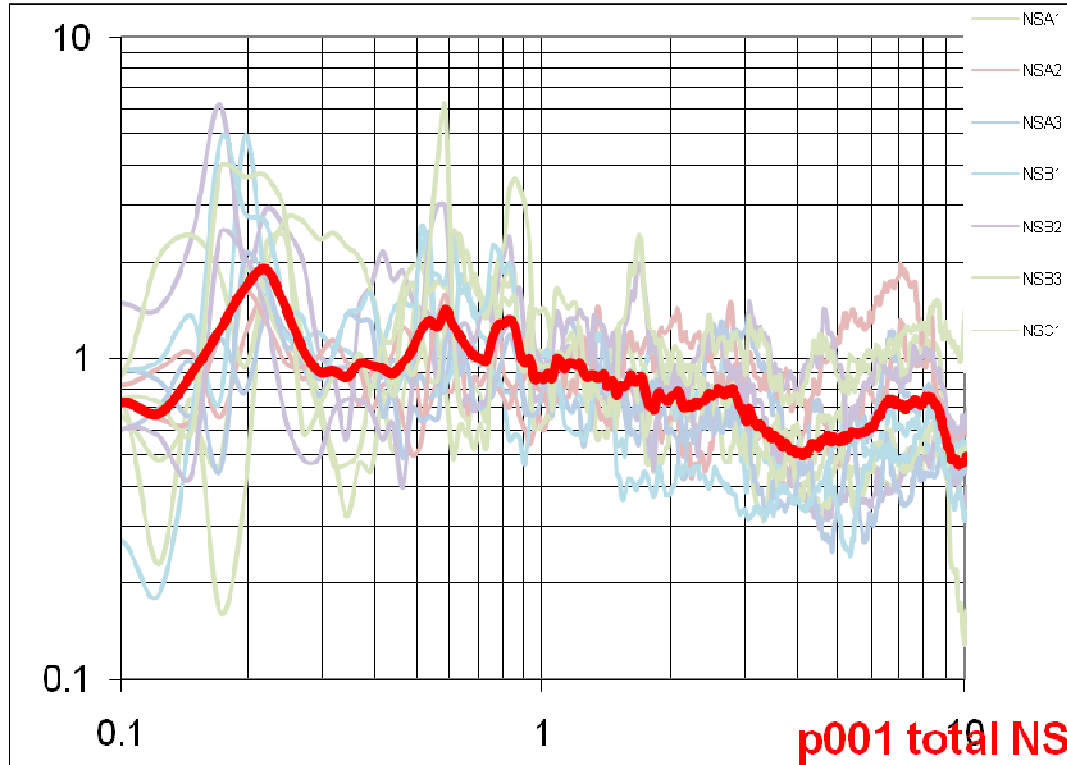
(EW/Z)



Catemaco

Promedio P001

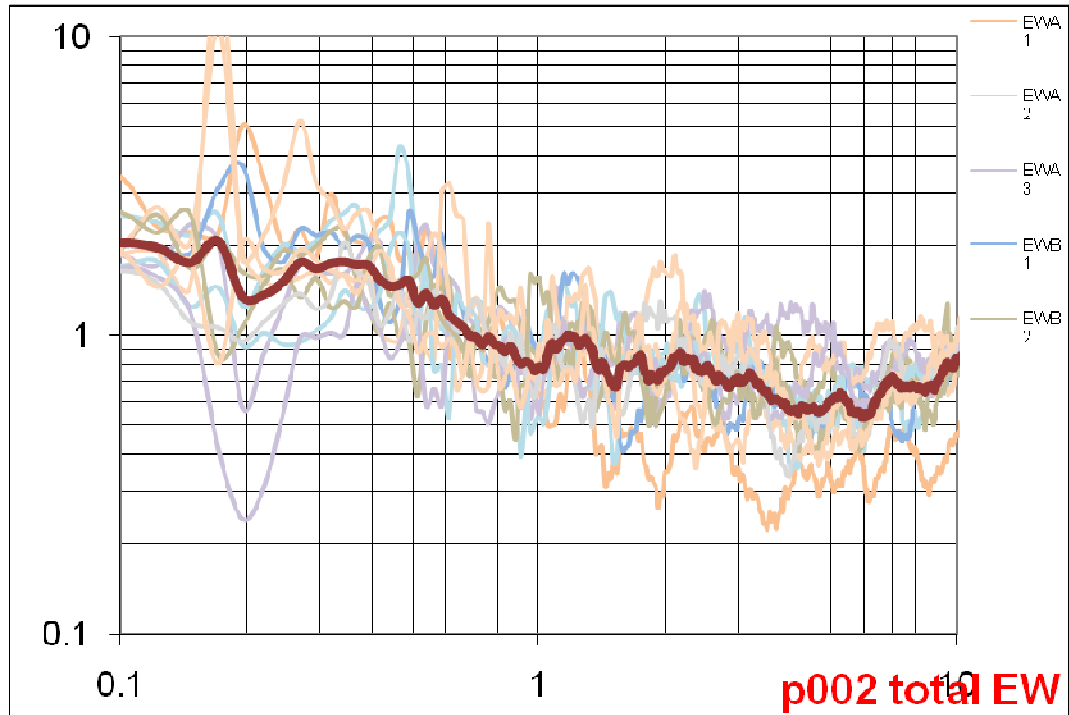
(NS/Z)



Catemaco

Promedio P002

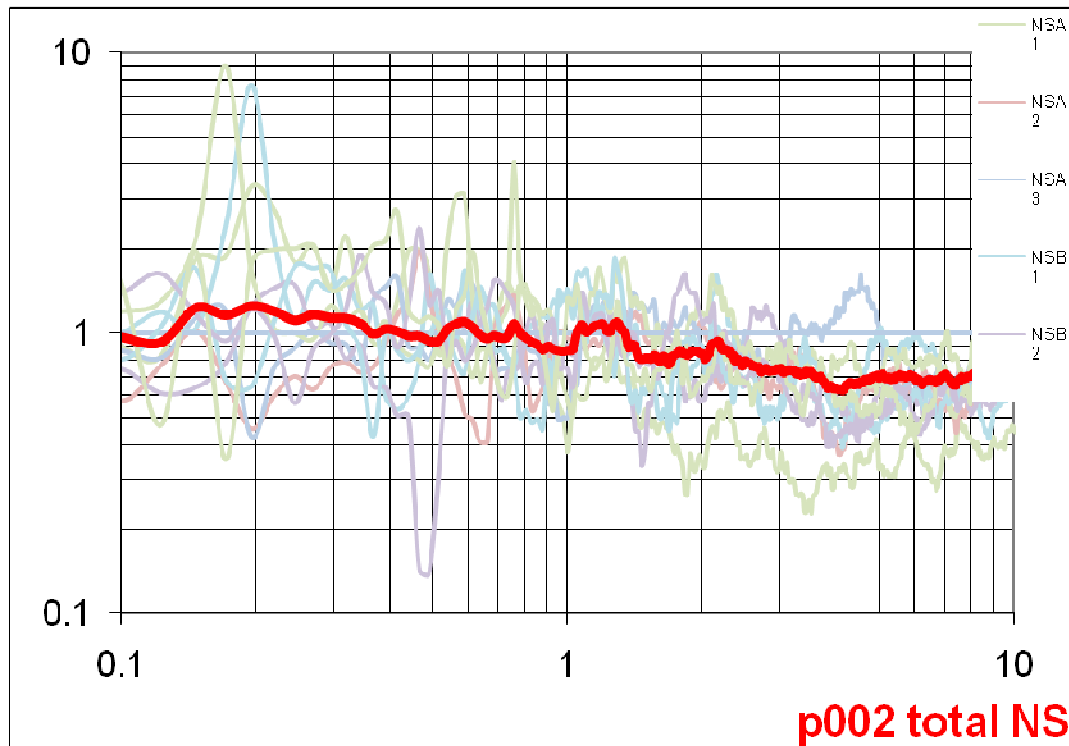
(EW/Z)



Catemaco

Promedio P002

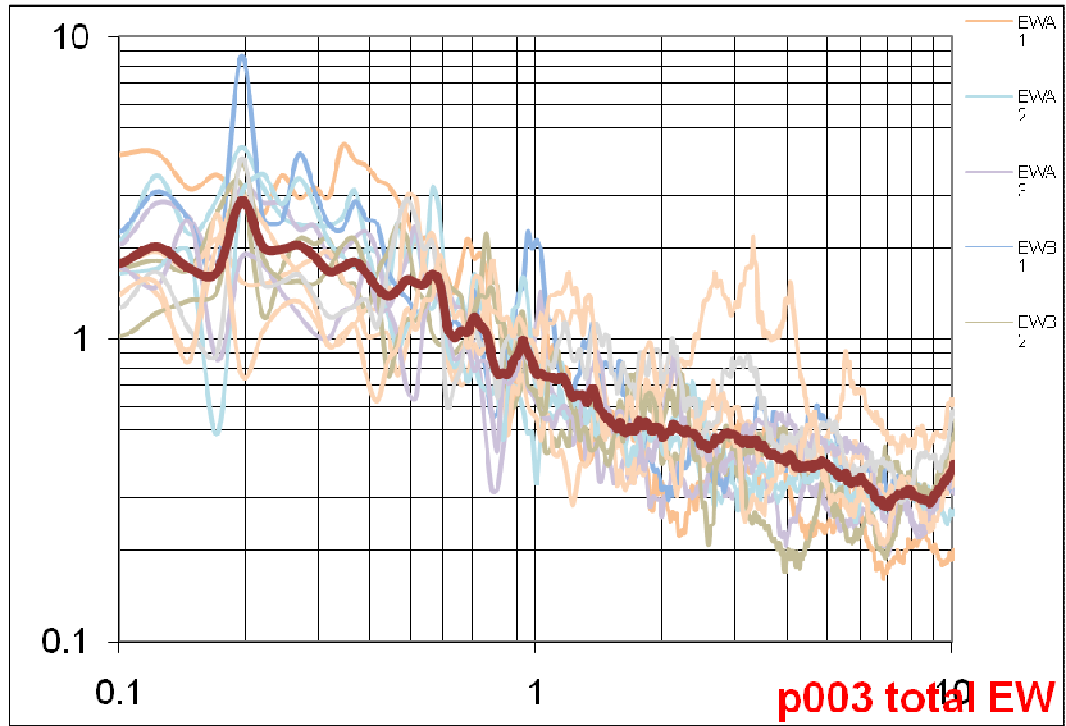
(NS/Z)



Catemaco

Promedio P003

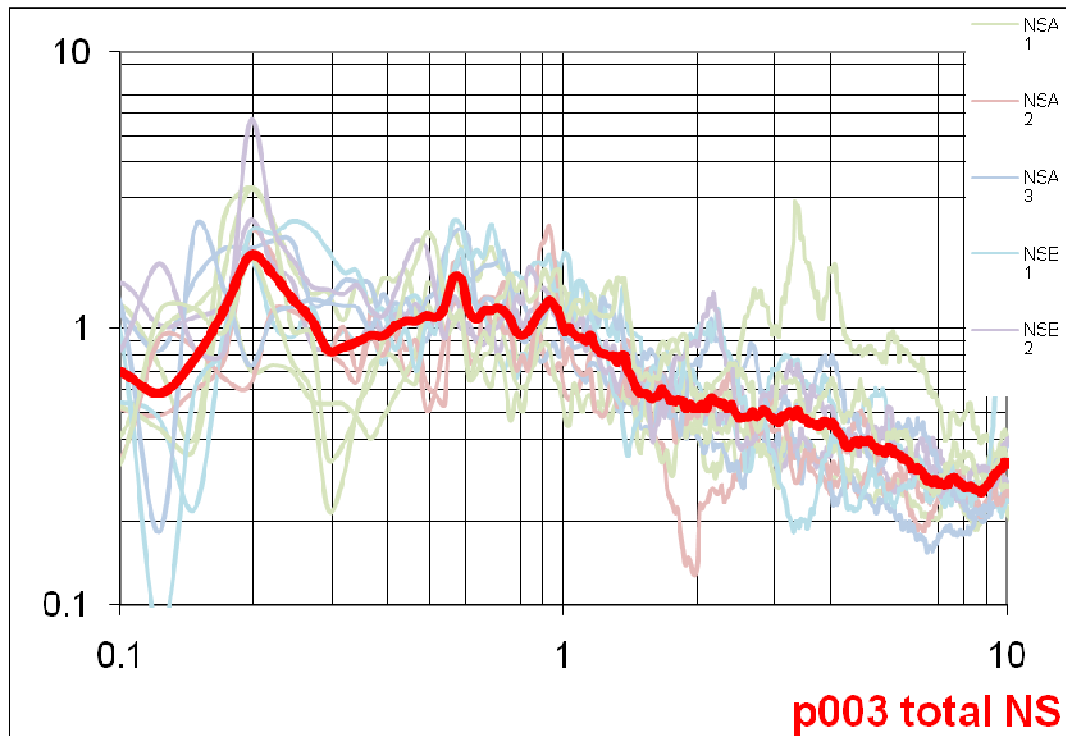
(EW/Z)



Catemaco

Promedio P003

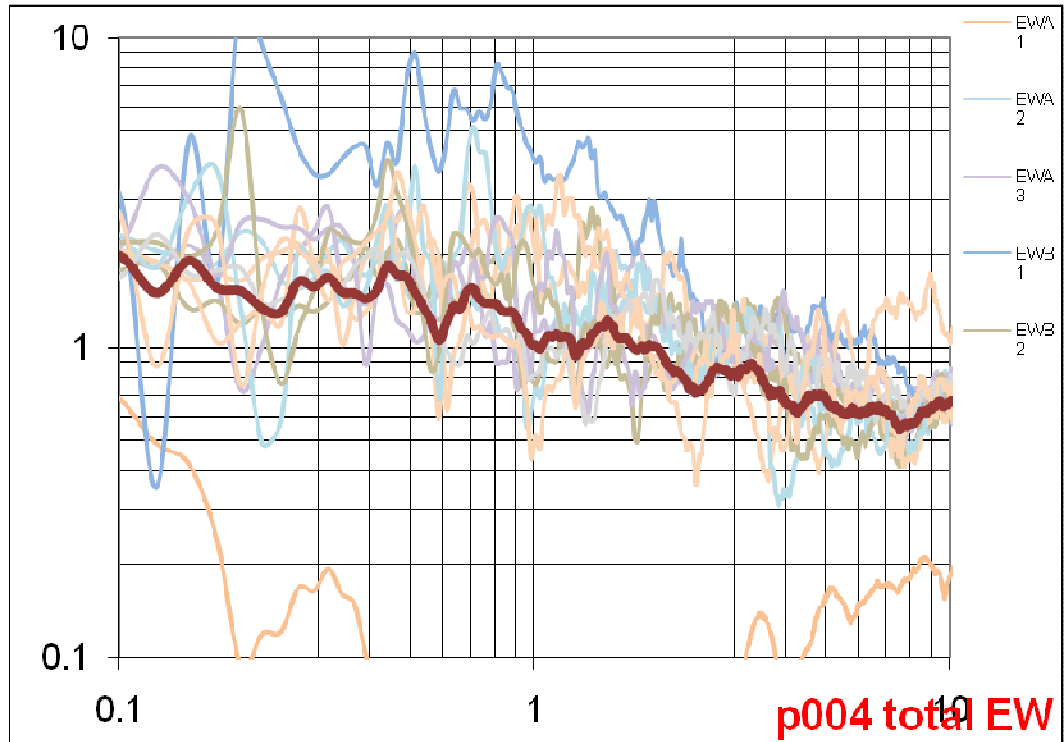
(NS/Z)



Catemaco

Promedio P004

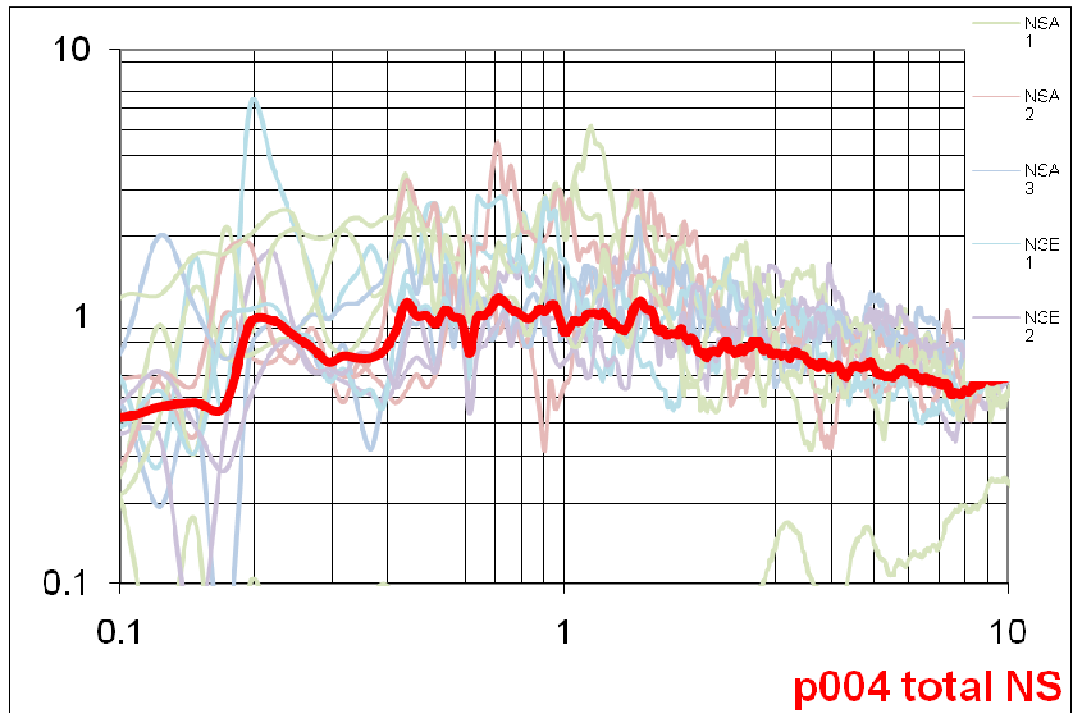
(EW/Z)



Catemaco

Promedio P004

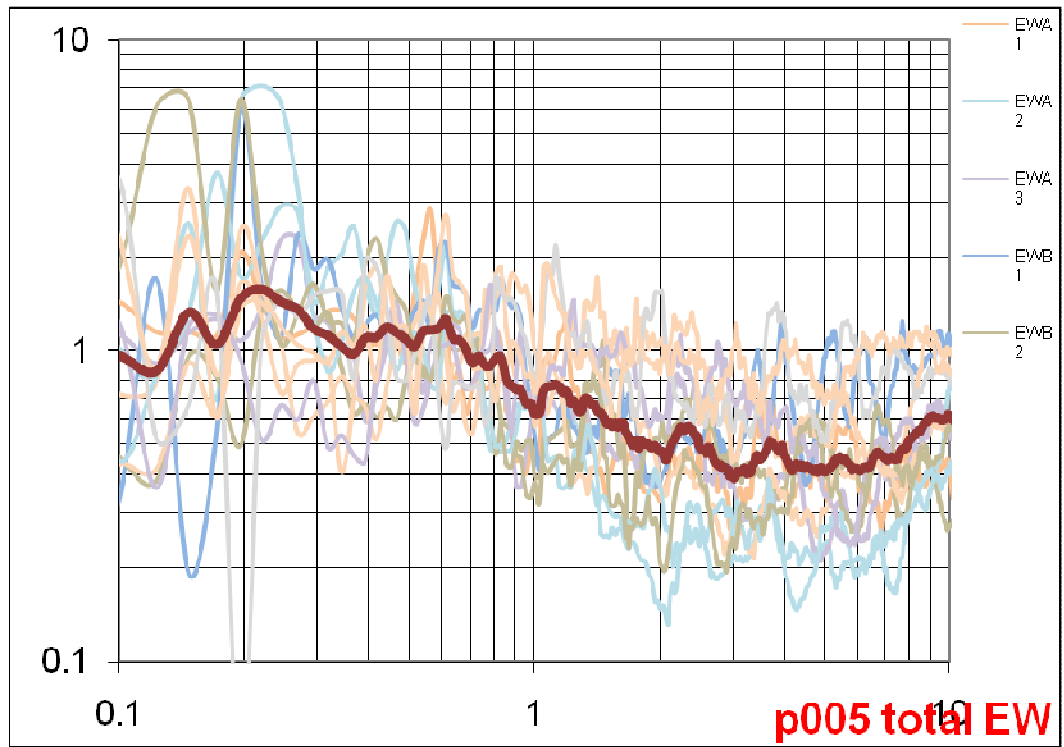
(NS/Z)



Catemaco

Promedio P005

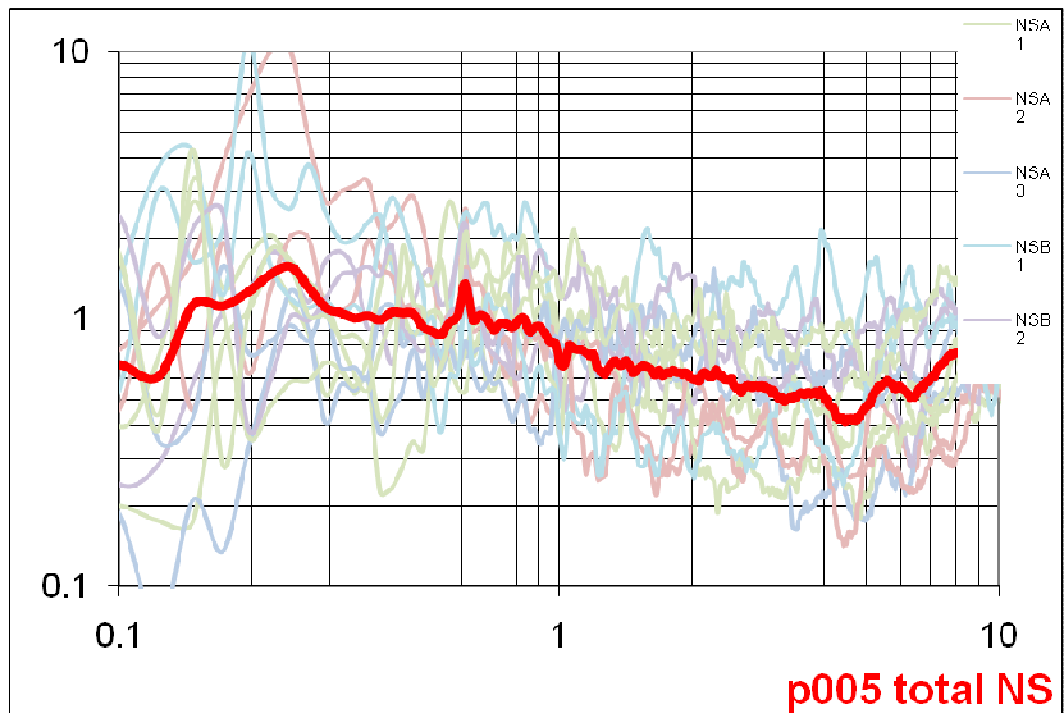
(EW/Z)



Catemaco

Promedio P005

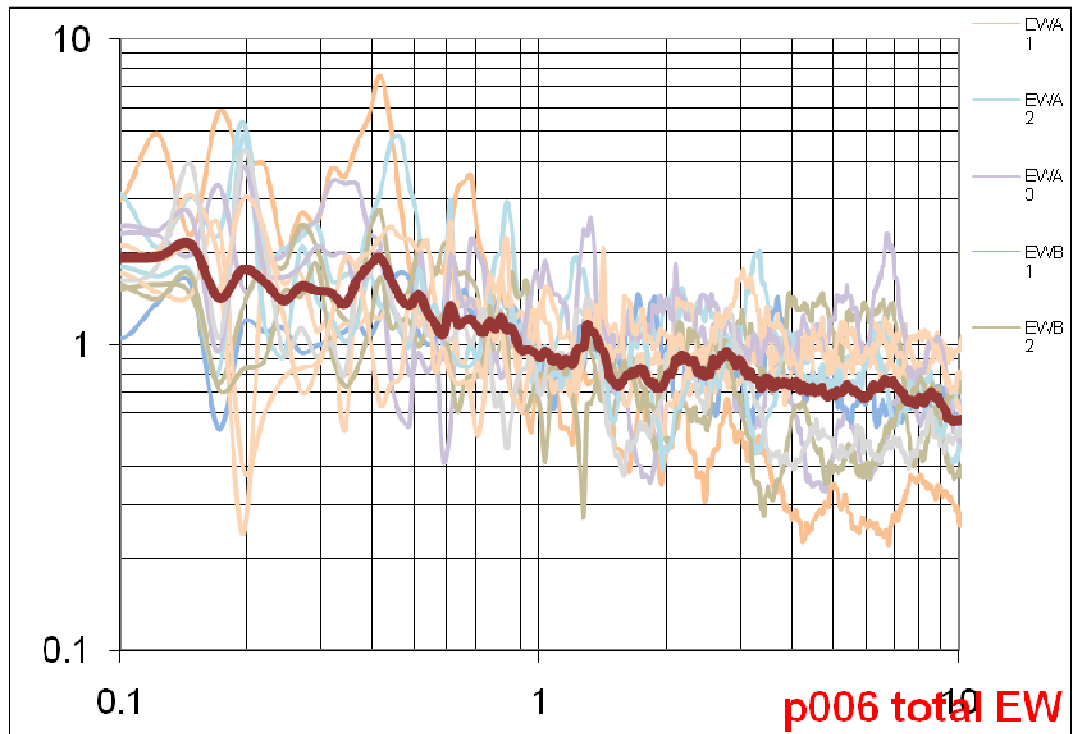
(NS/Z)



Catemaco

Promedio P006

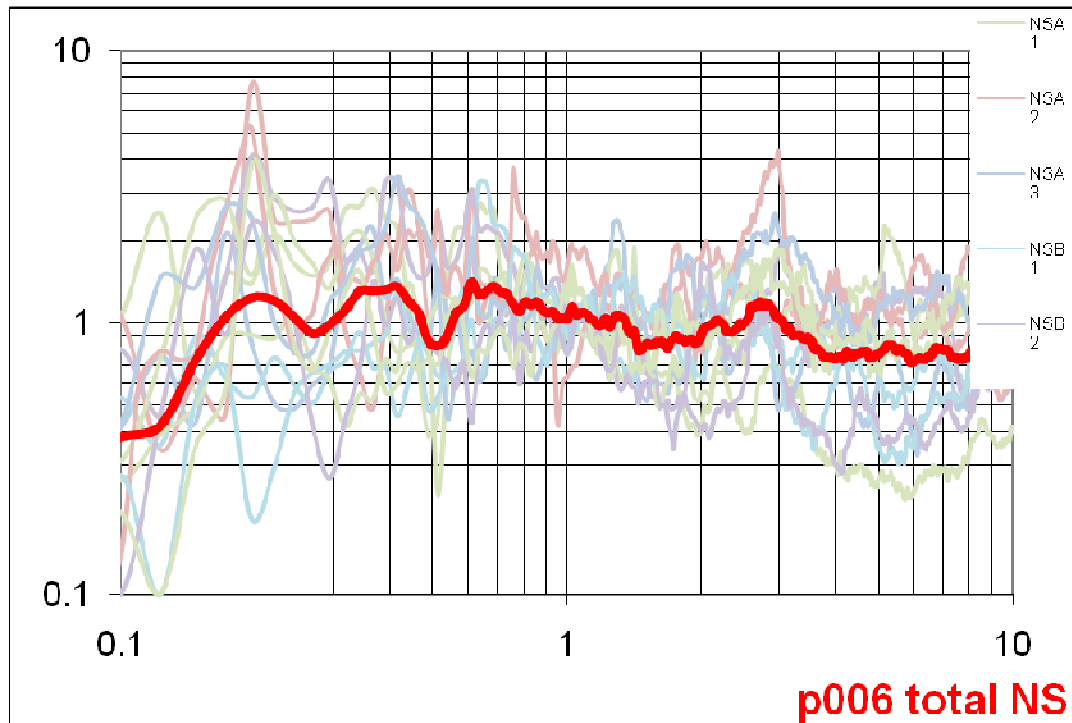
(EW/Z)



Catemaco

Promedio P006

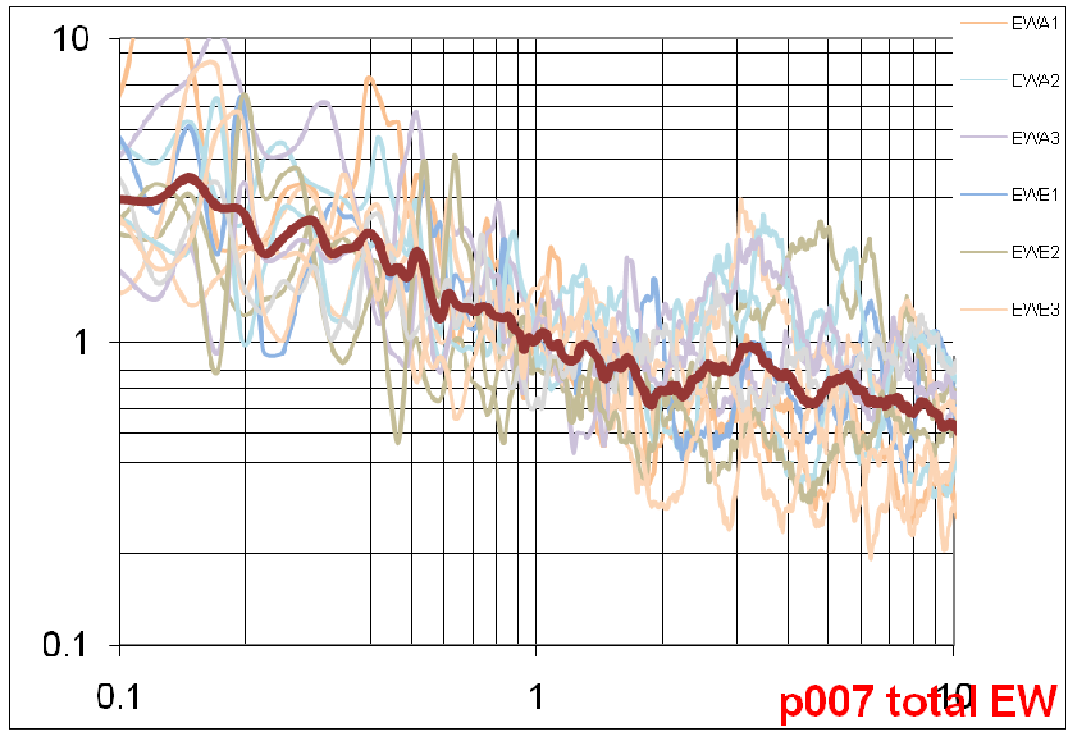
(NS/Z)



Catemaco

Promedio P007

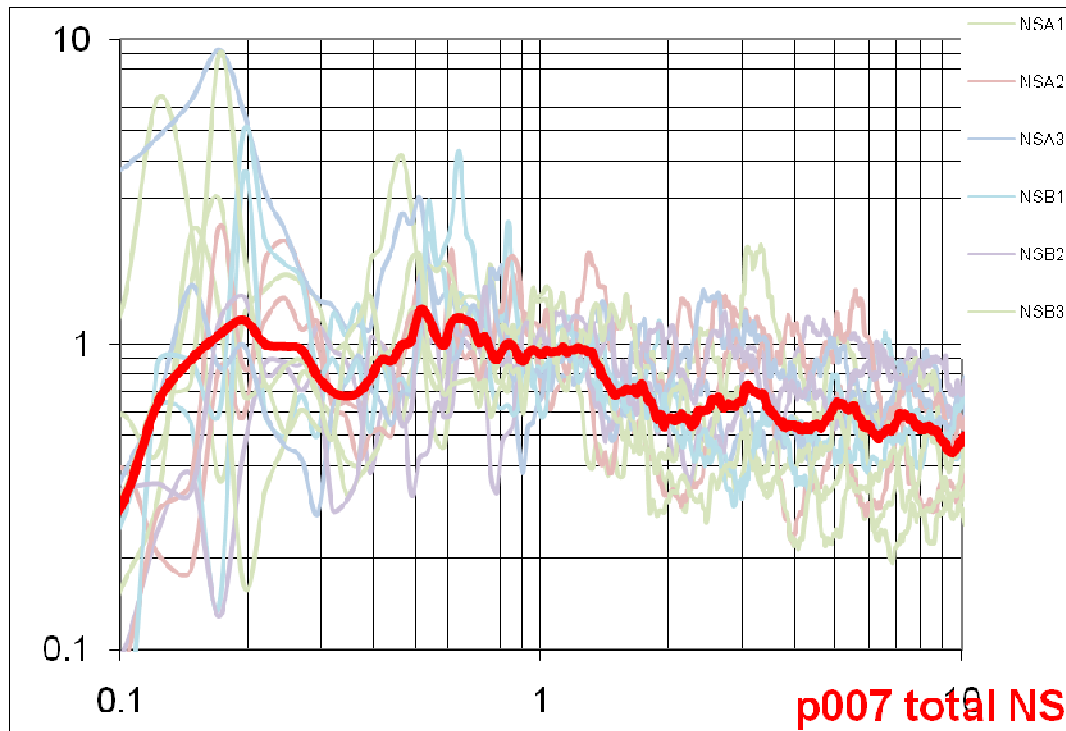
(EW/Z)



Catemaco

Promedio P007

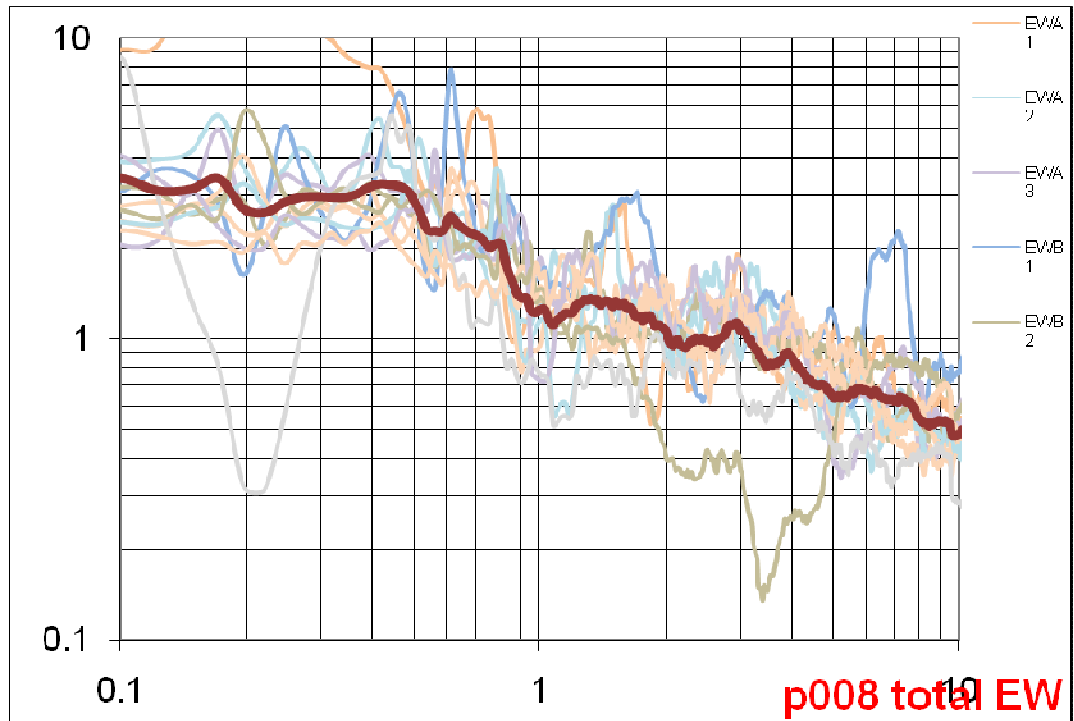
(NS/Z)



Catemaco

Promedio P008

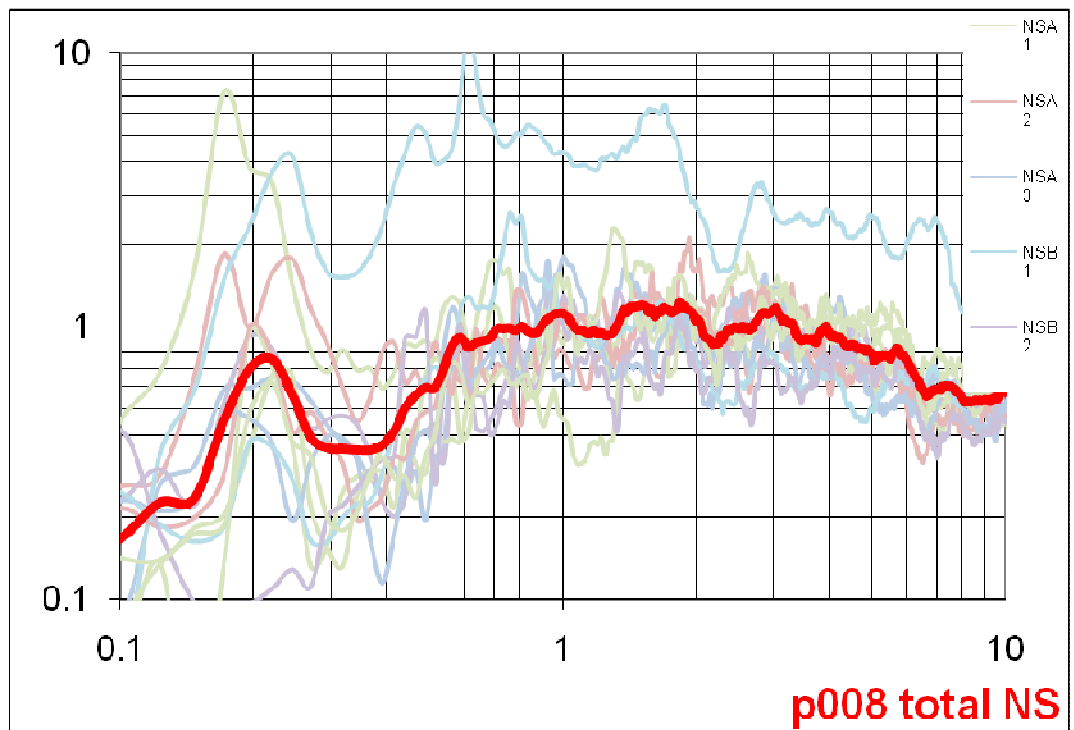
(EW/Z)



Catemaco

Promedio P008

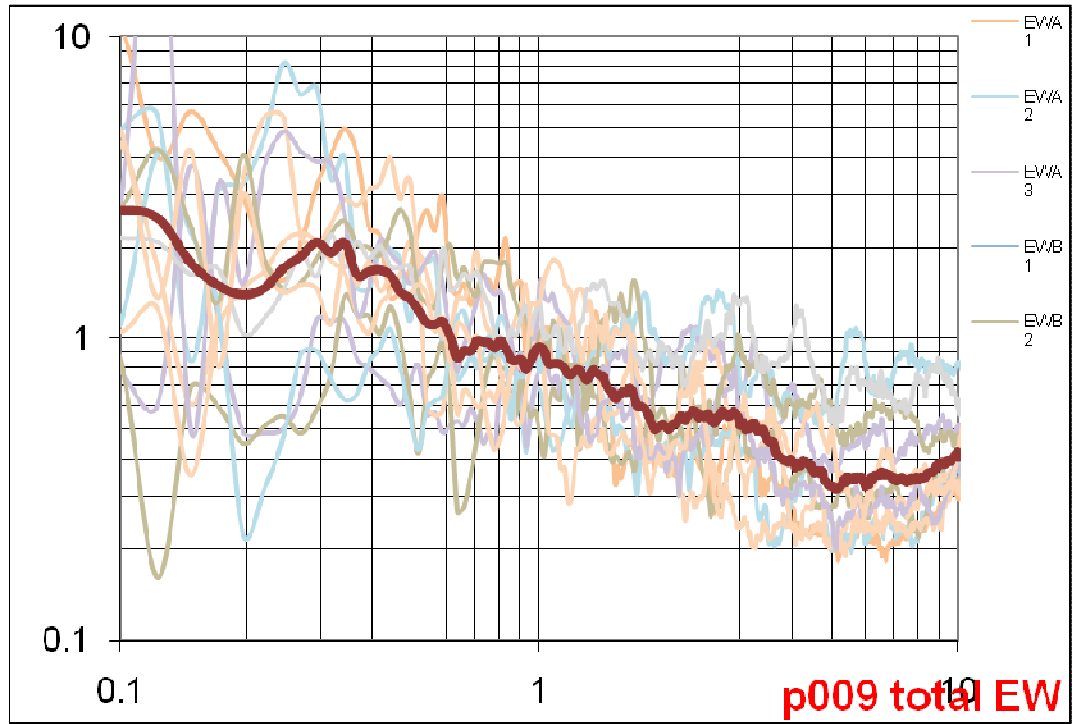
(NS/Z)



Catemaco

Promedio P009

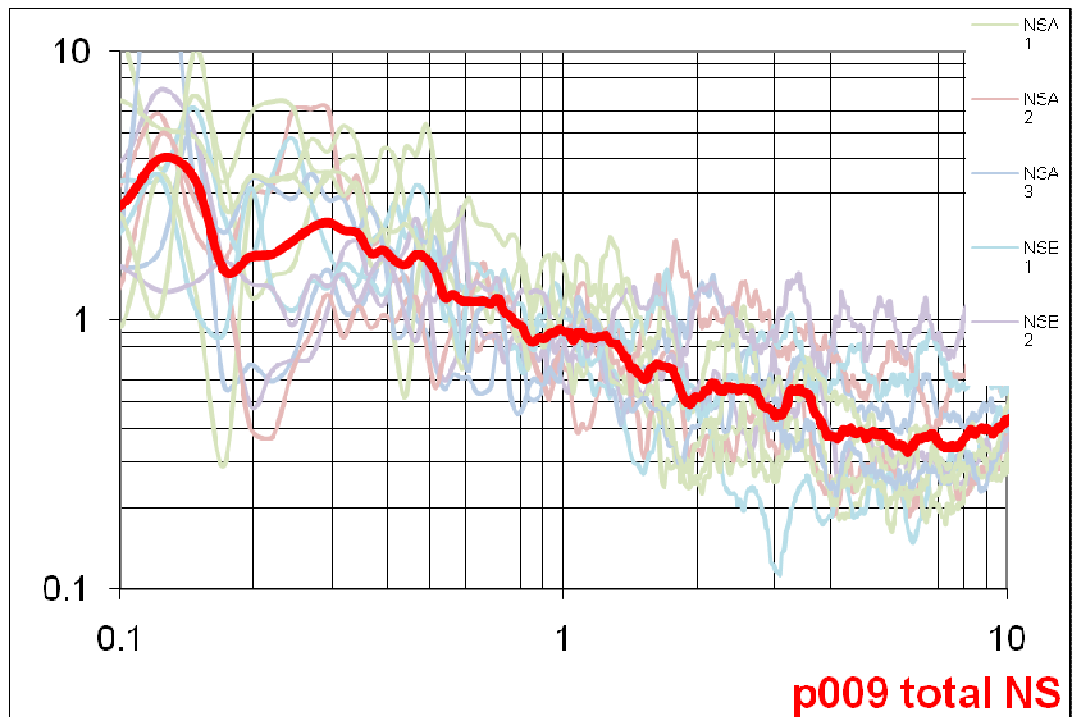
(EW/Z)



Catemaco

Promedio P009

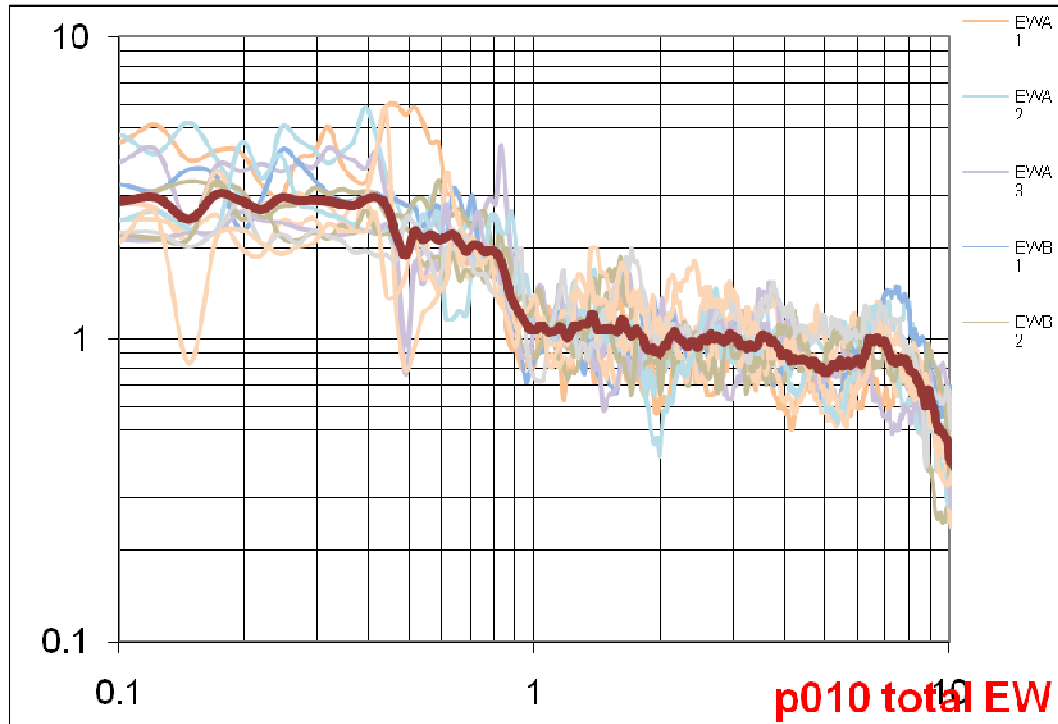
(NS/Z)



Catemaco

Promedio P010

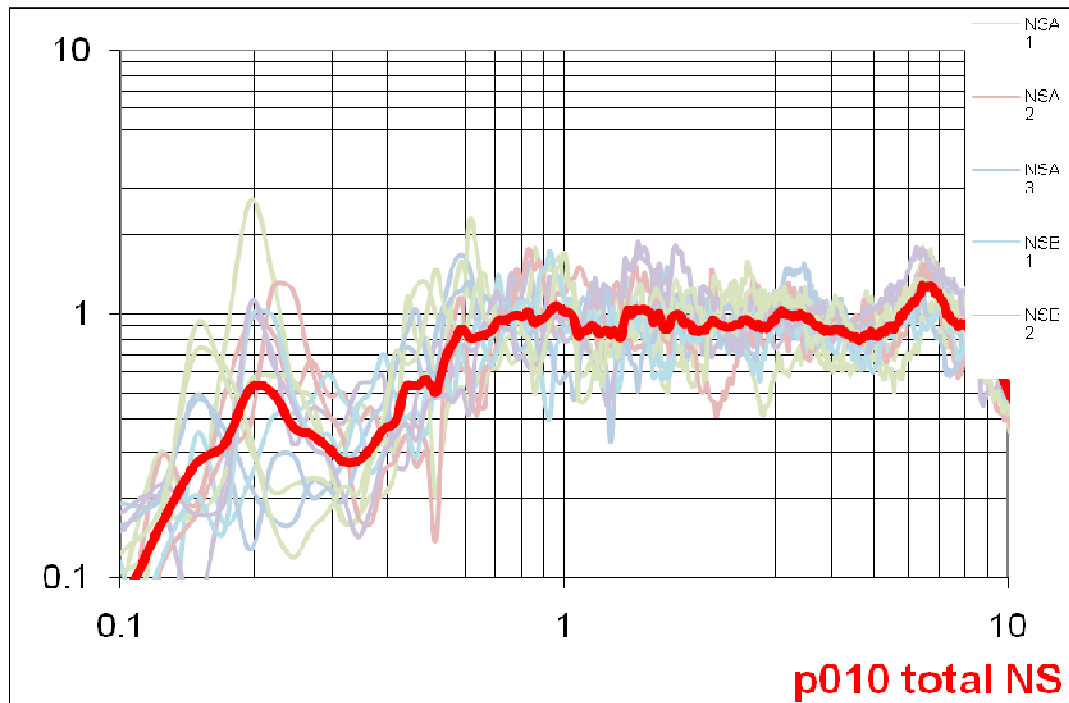
(EW/Z)



Catemaco

Promedio P010

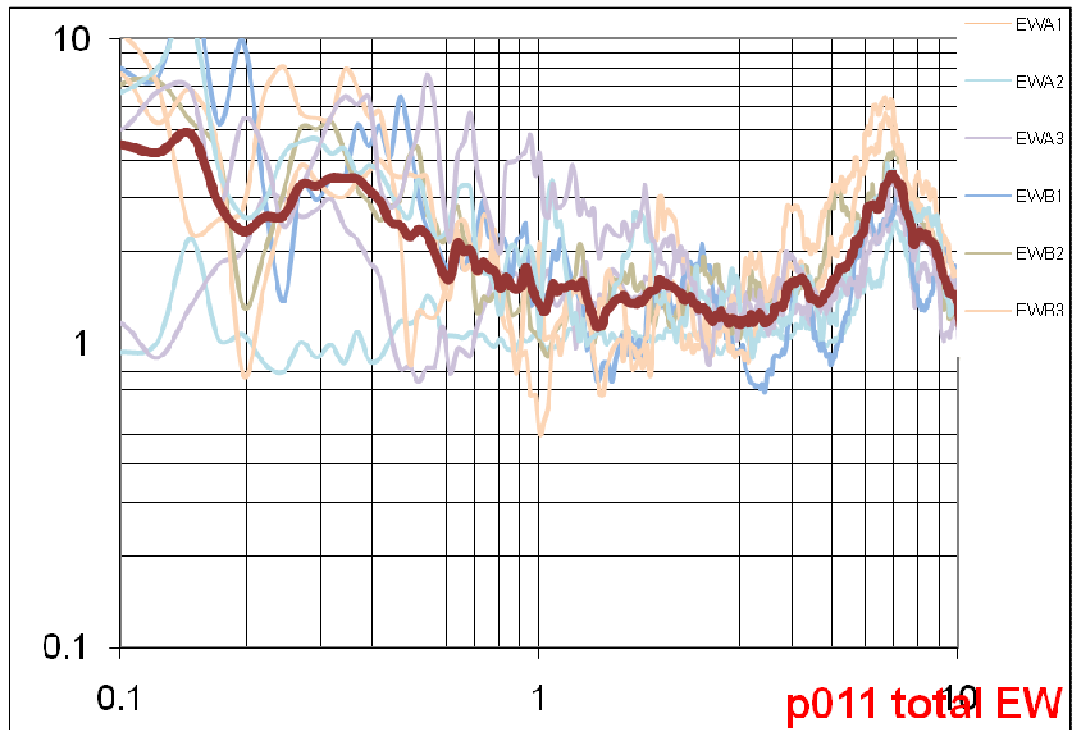
(NS/Z)



Catemaco

Promedio P011

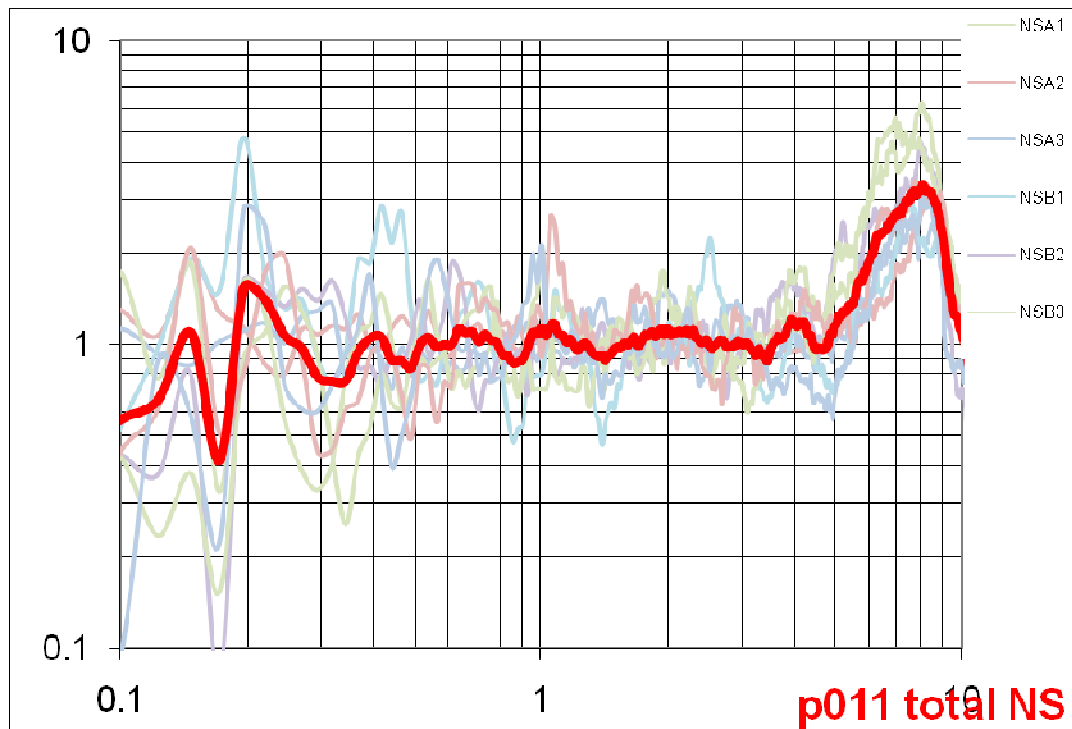
(EW/Z)



Catemaco

Promedio P011

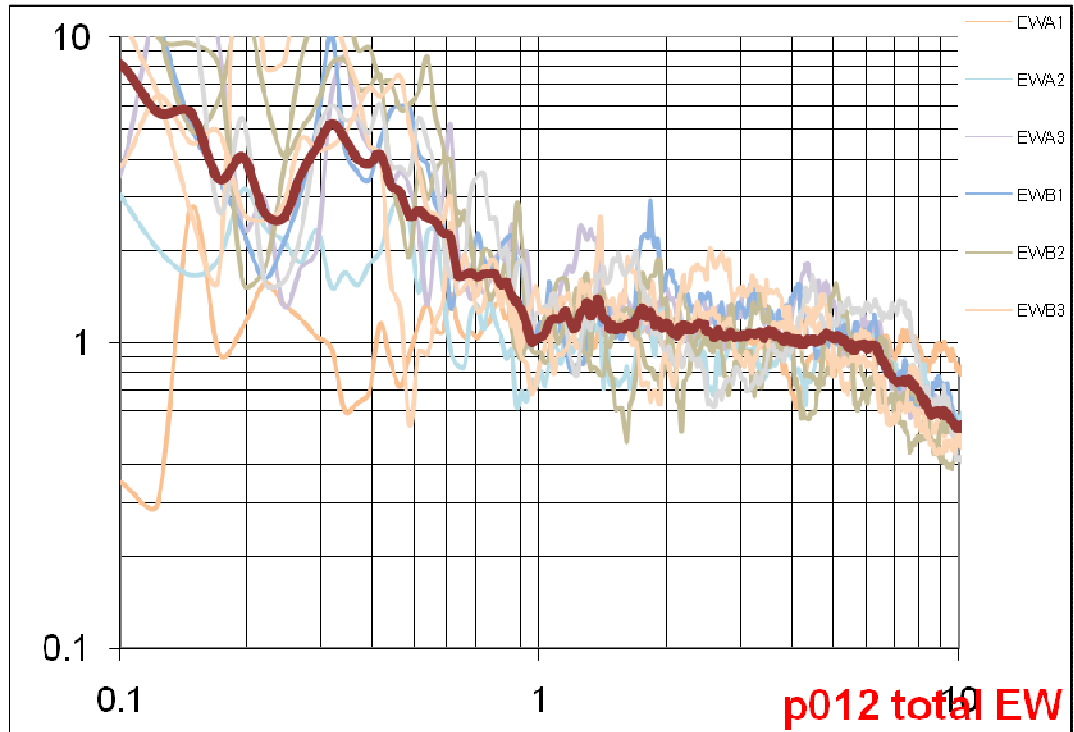
(NS/Z)



Catemaco

Promedio P012

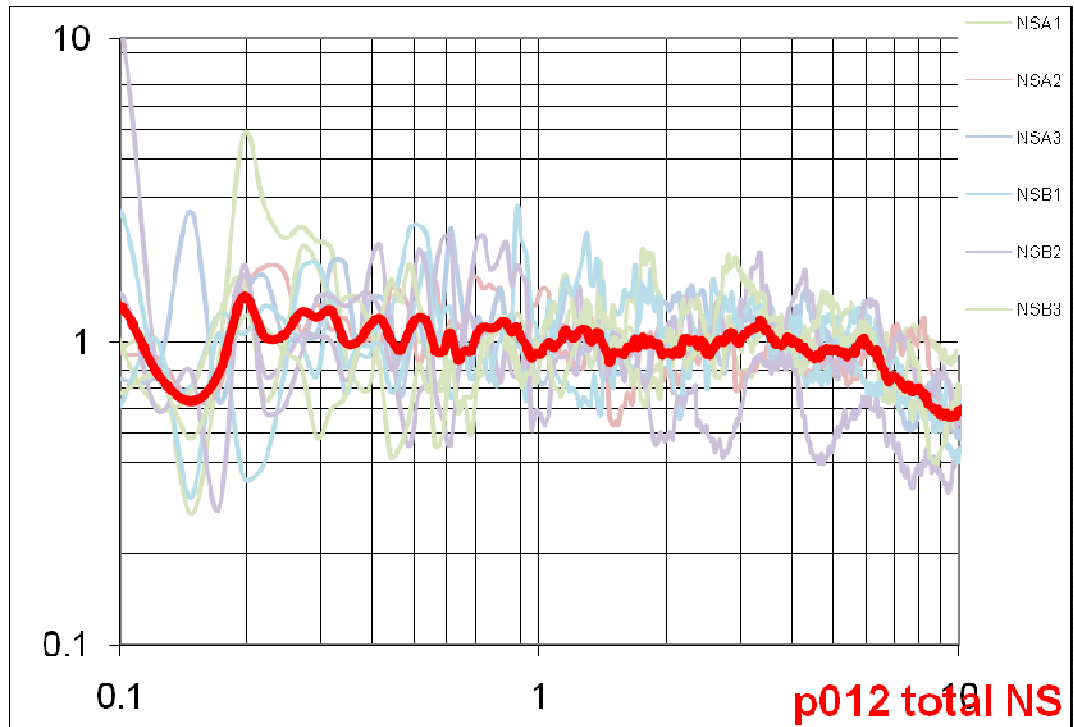
(EW/Z)



Catemaco

Promedio P012

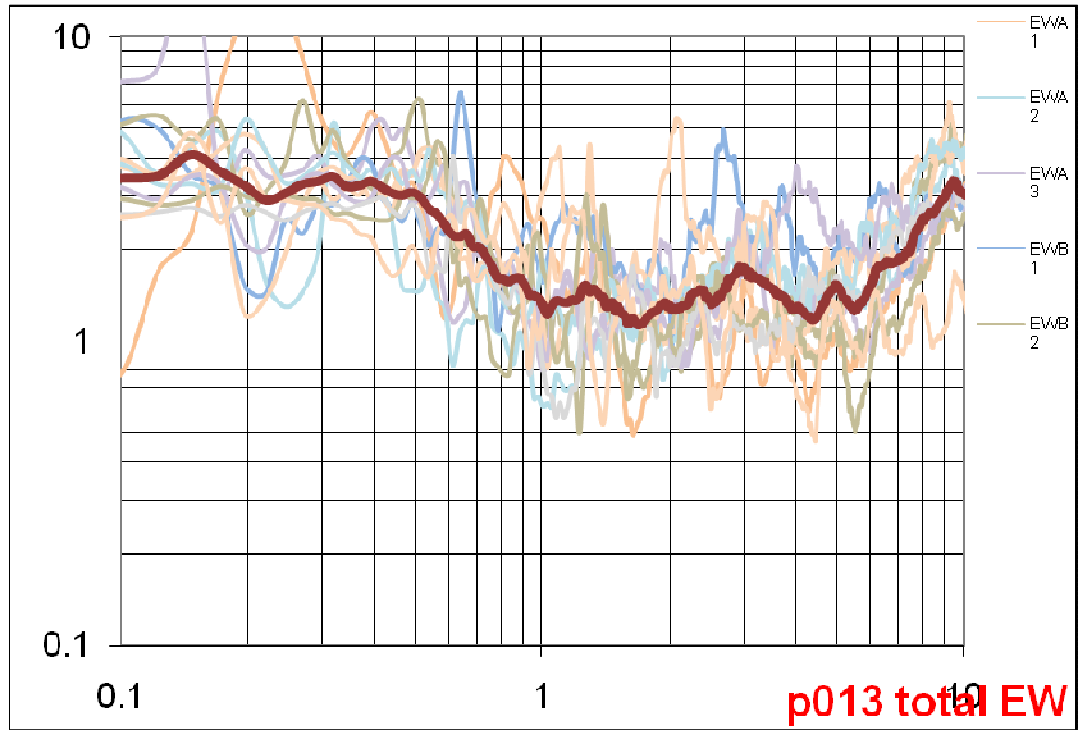
(NS/Z)



Catemaco

Promedio P013

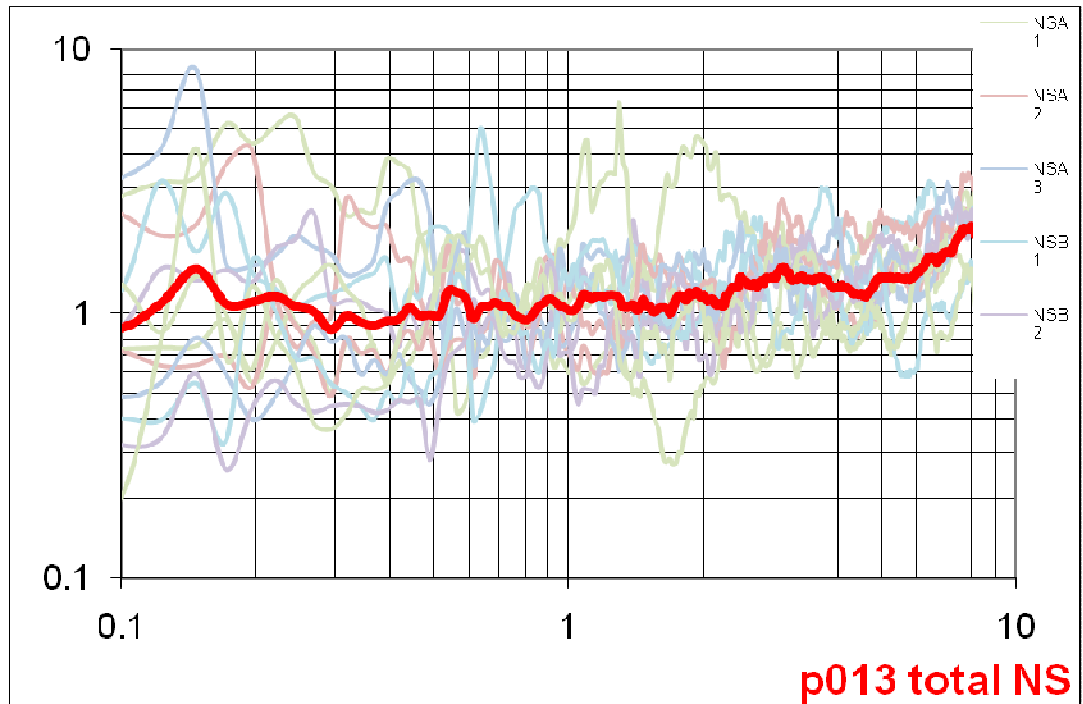
(EW/Z)



Catemaco

Promedio P013

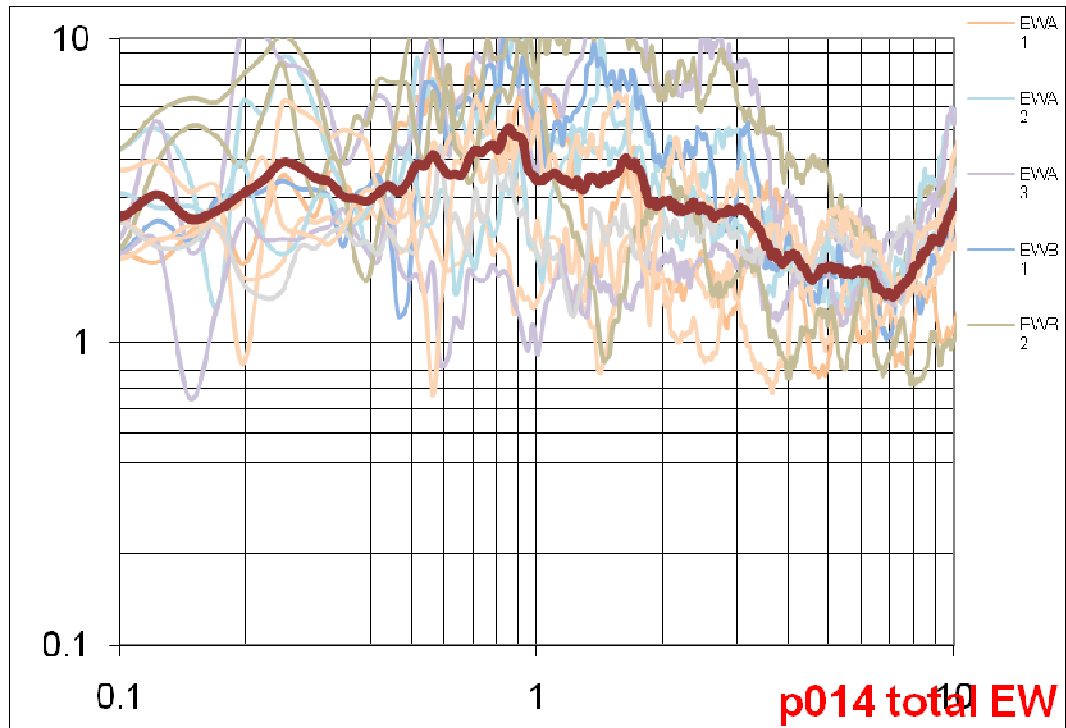
(NS/Z)



Catemaco

Promedio P014

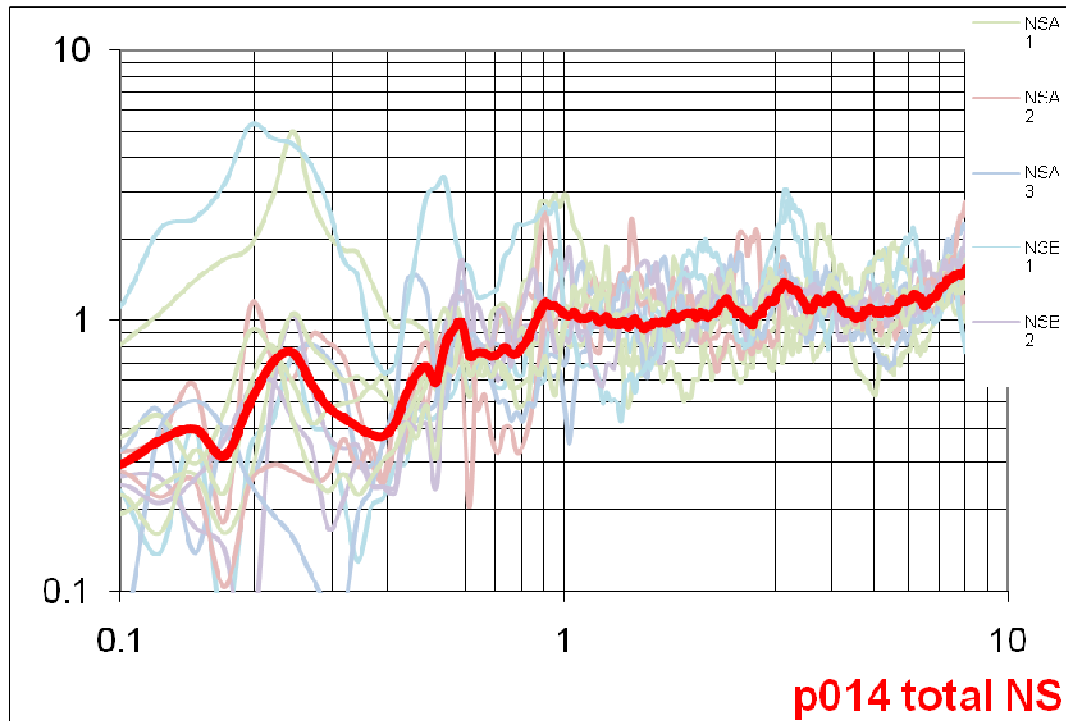
(EW/Z)



Catemaco

Promedio P014

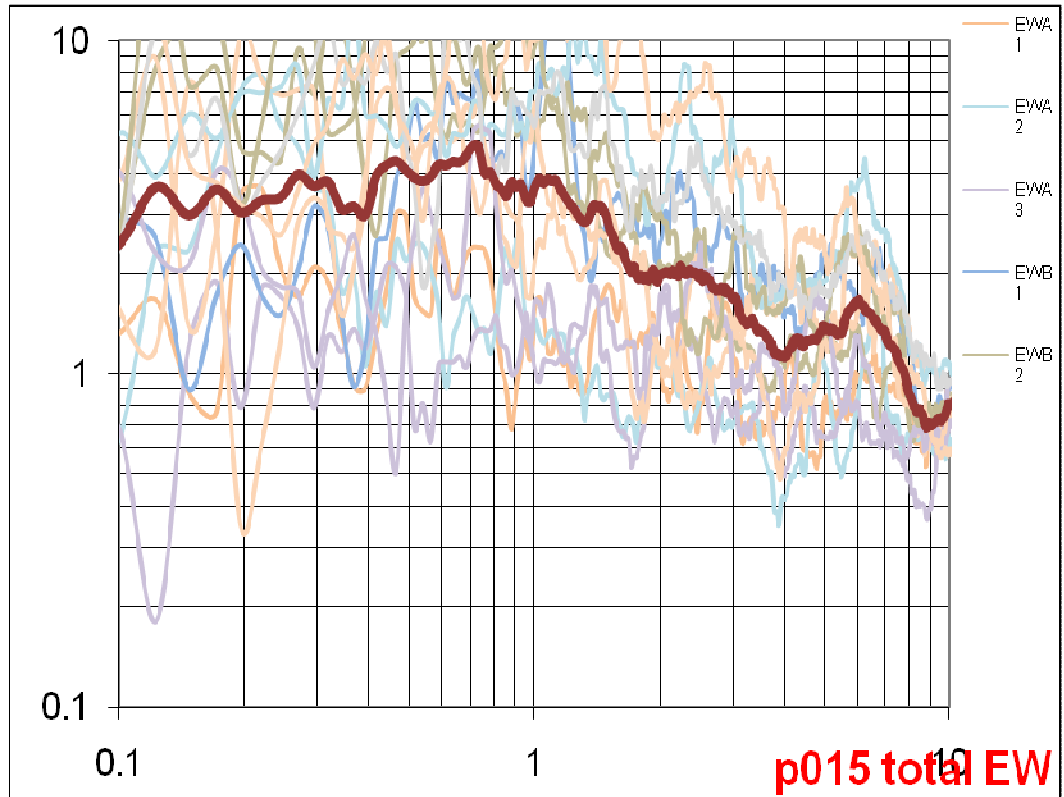
(NS/Z)



Catemaco

Promedio P015

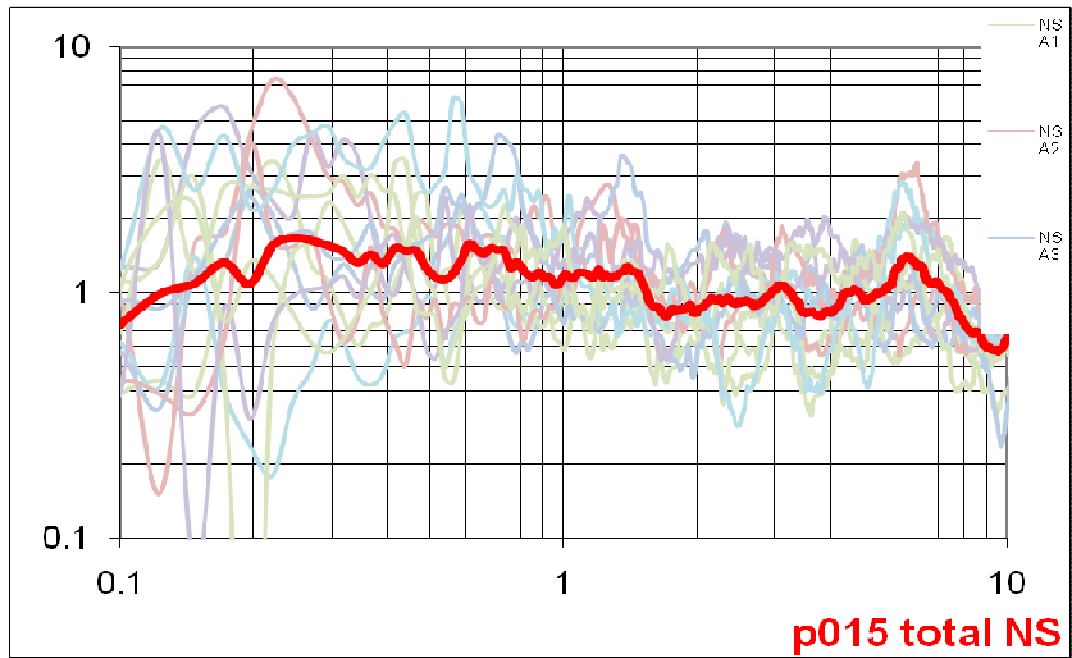
(EW/Z)



Catemaco

Promedio P015

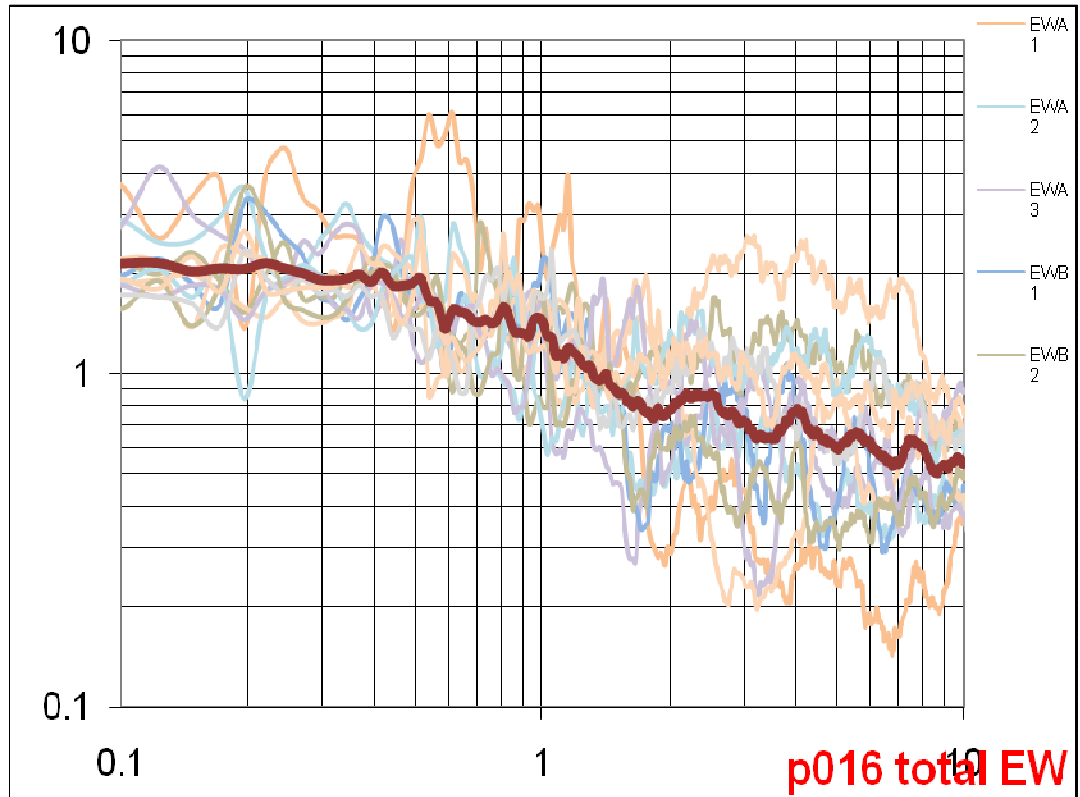
(NS/Z)



Catemaco

Promedio P016

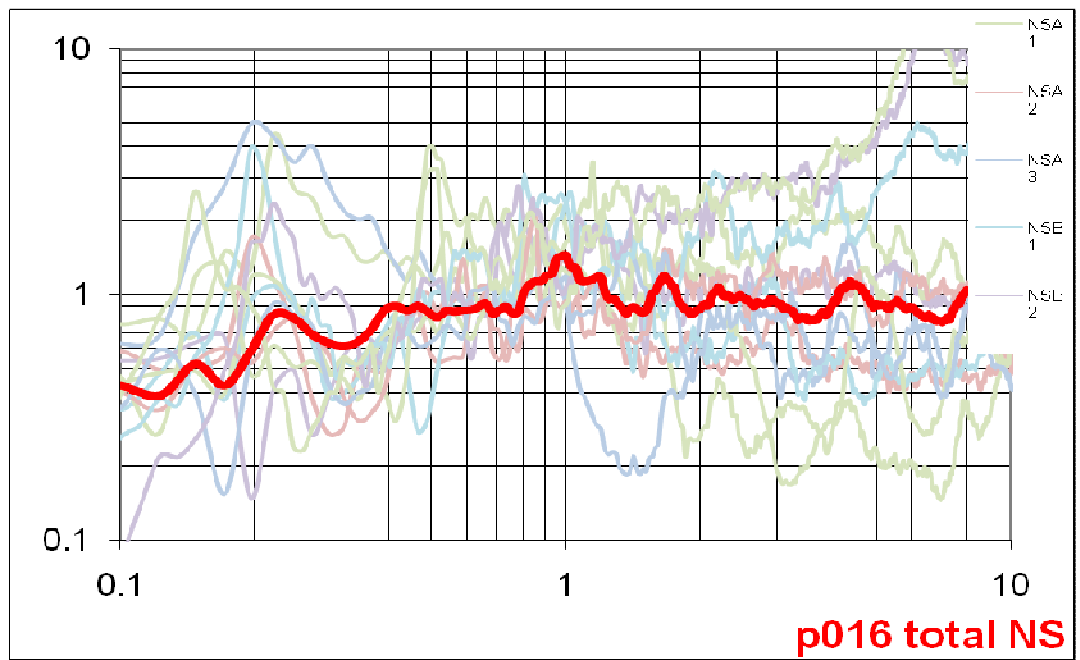
(EW/Z)



Catemaco

Promedio P016

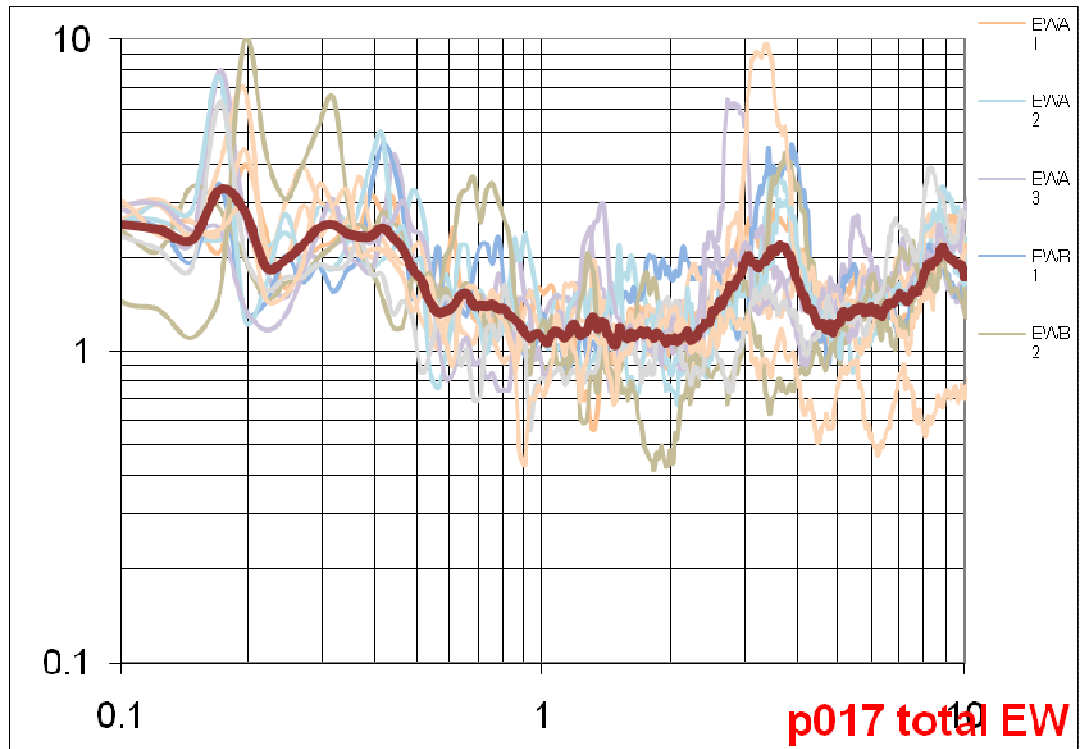
(NS/Z)



Catemaco

Promedio P017

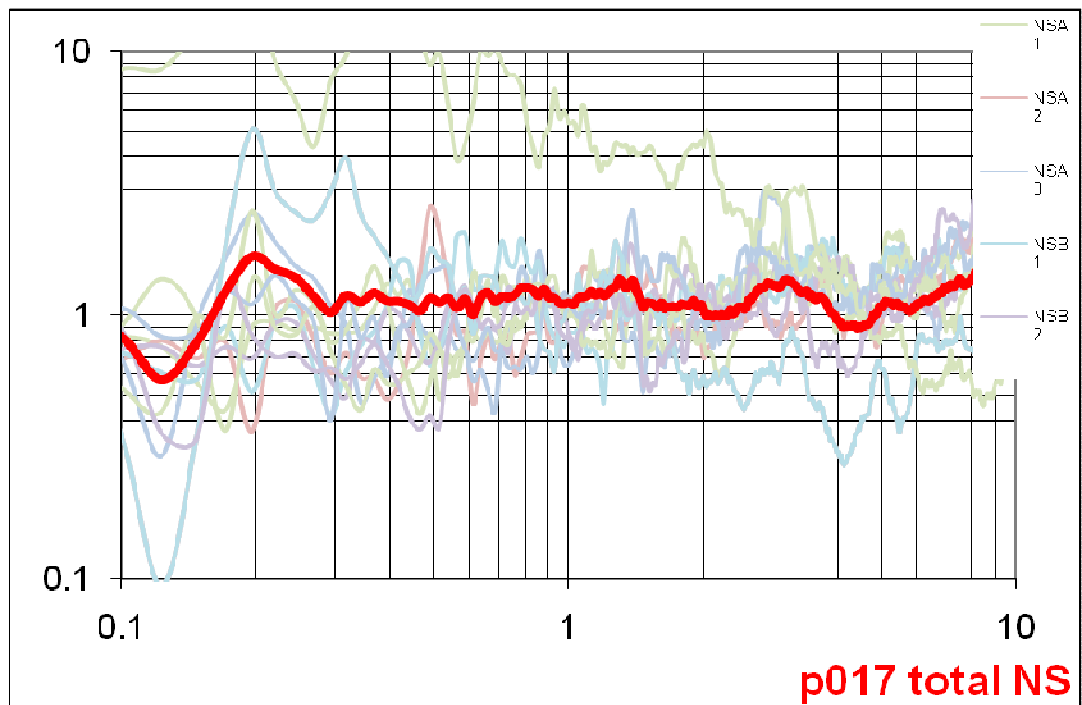
(EW/Z)



Catemaco

Promedio P017

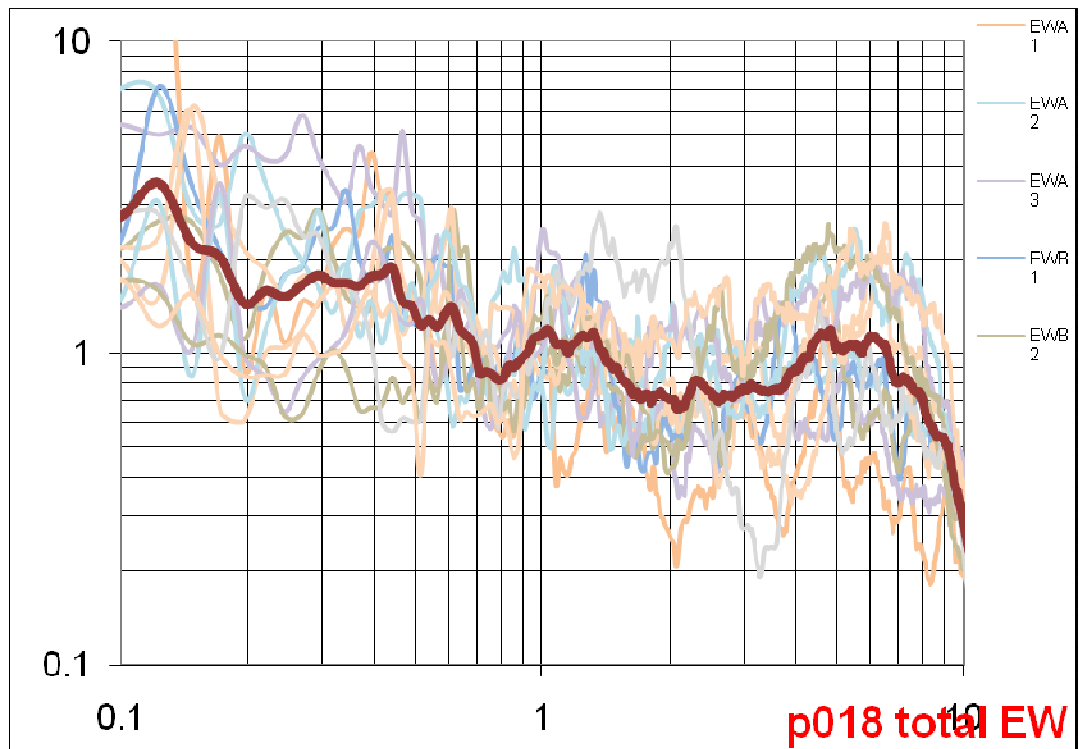
(NS/Z)



Catemaco

Promedio P018

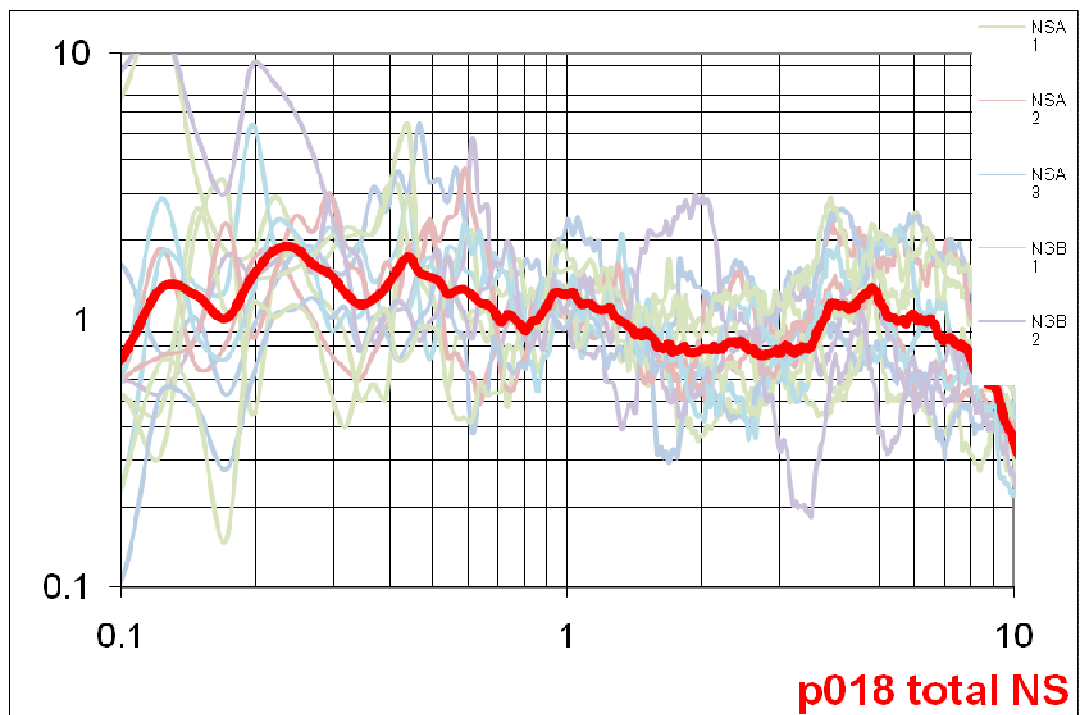
(EW/Z)



Catemaco

Promedio P018

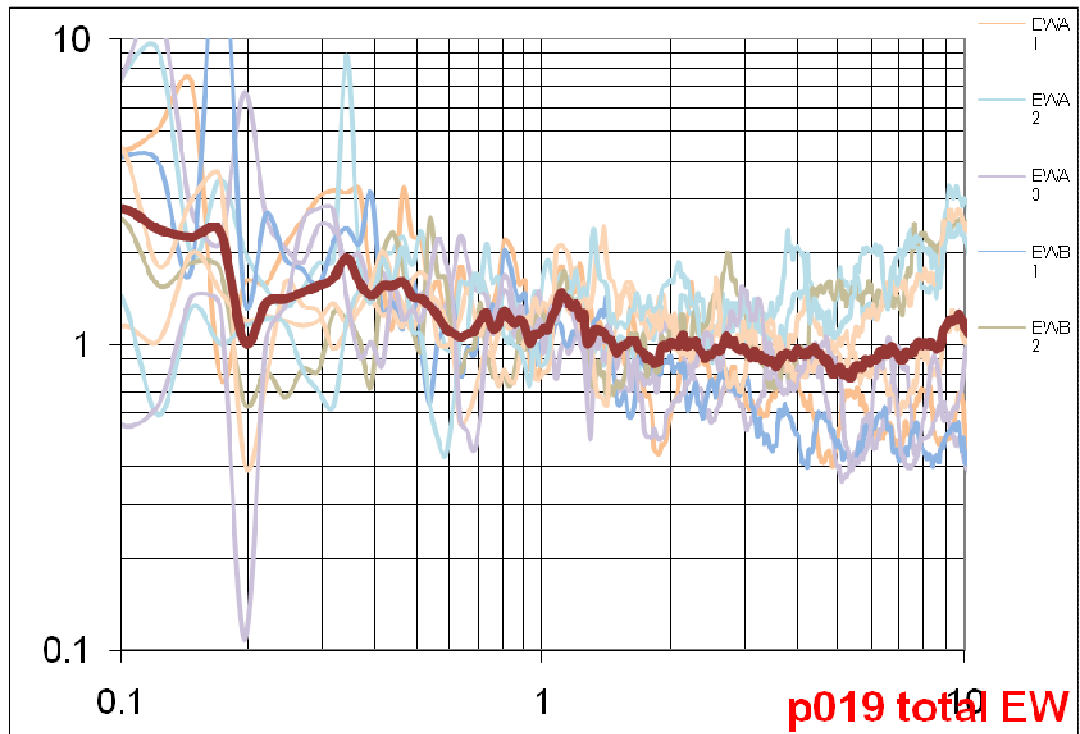
(NS/Z)



Catemaco

Promedio P019

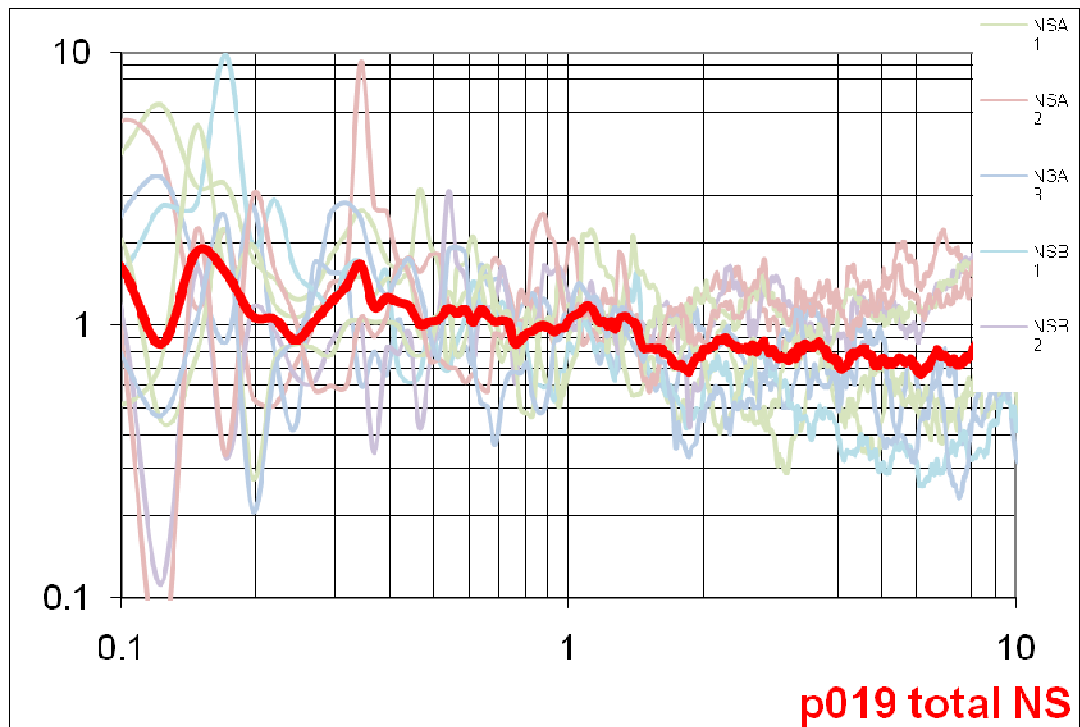
(EW/Z)



Catemaco

Promedio P019

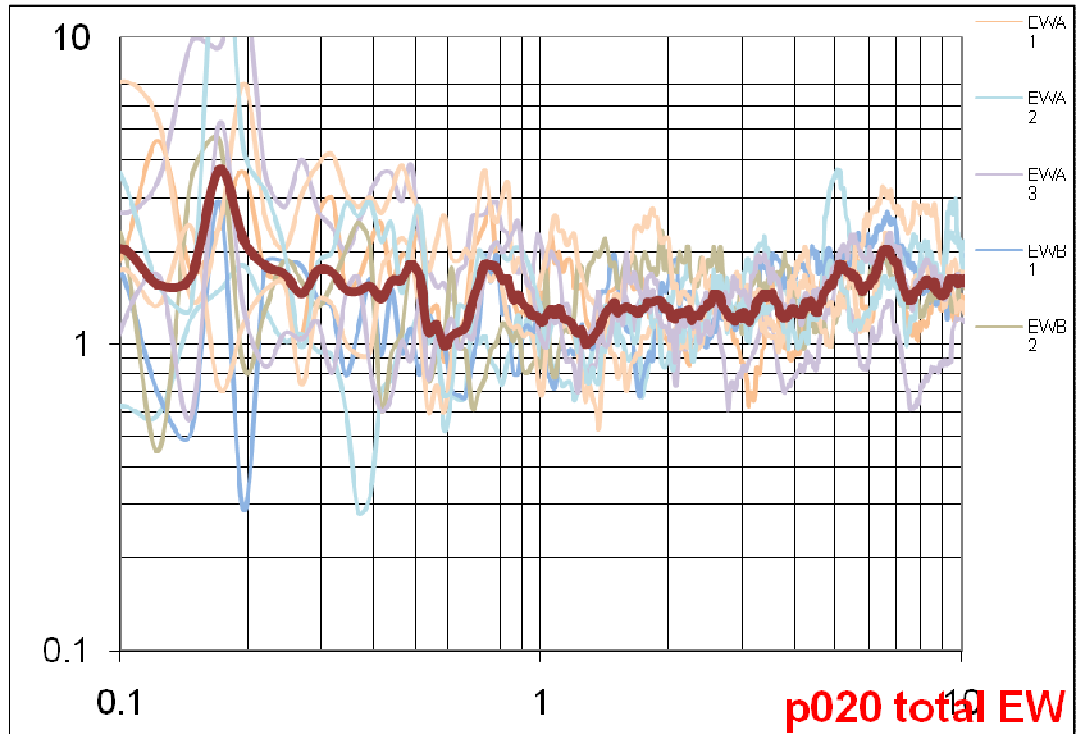
(NS/Z)



Catemaco

Promedio P020

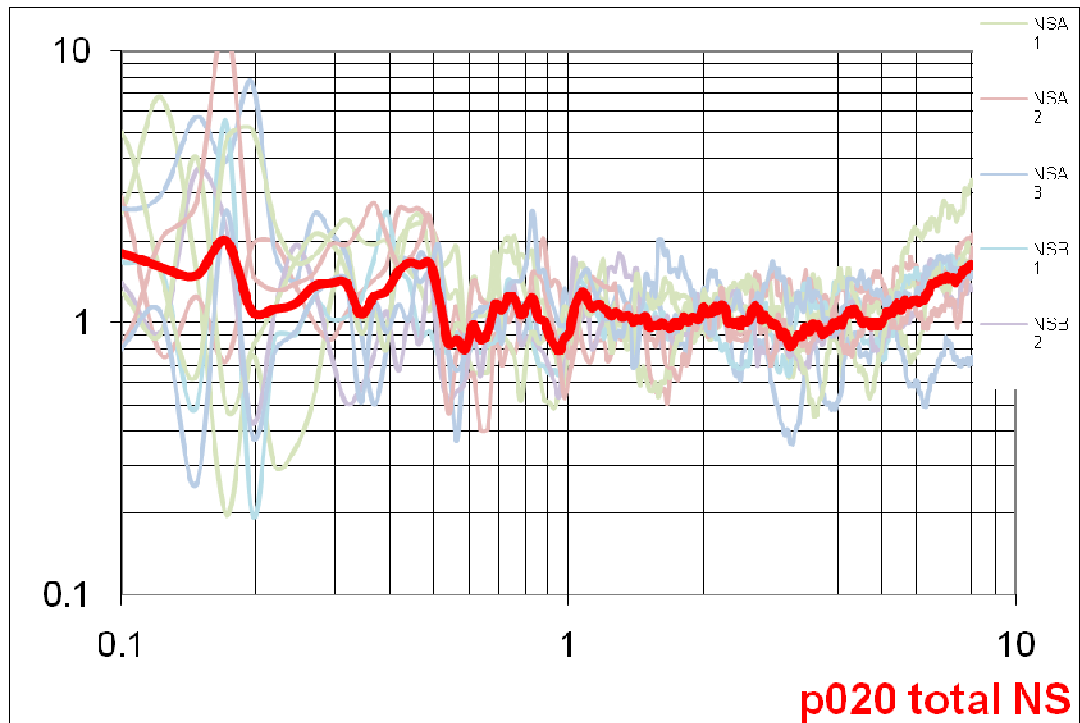
(EW/Z)



Catemaco

Promedio P020

(NS/Z)



APENDICE 2

RAZONES ESPECTRALES

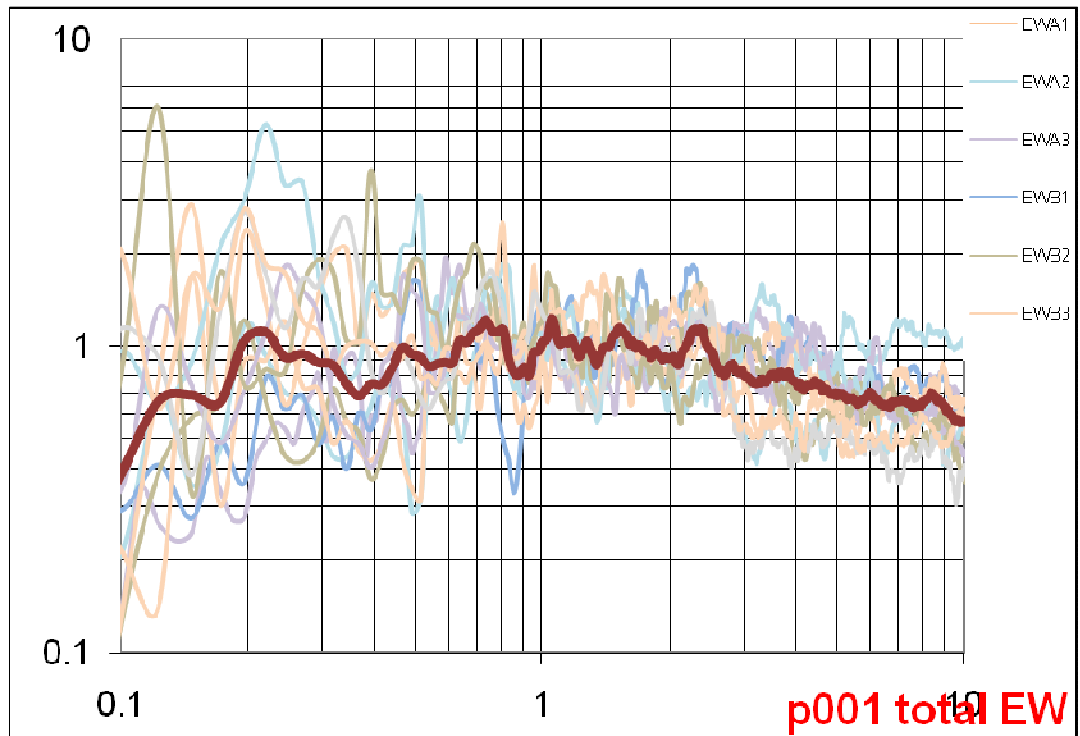
DE LA CIUDAD DE

SAN ANDRES TUXTLA, VER.

San Andrés Tuxtla

Promedio P001

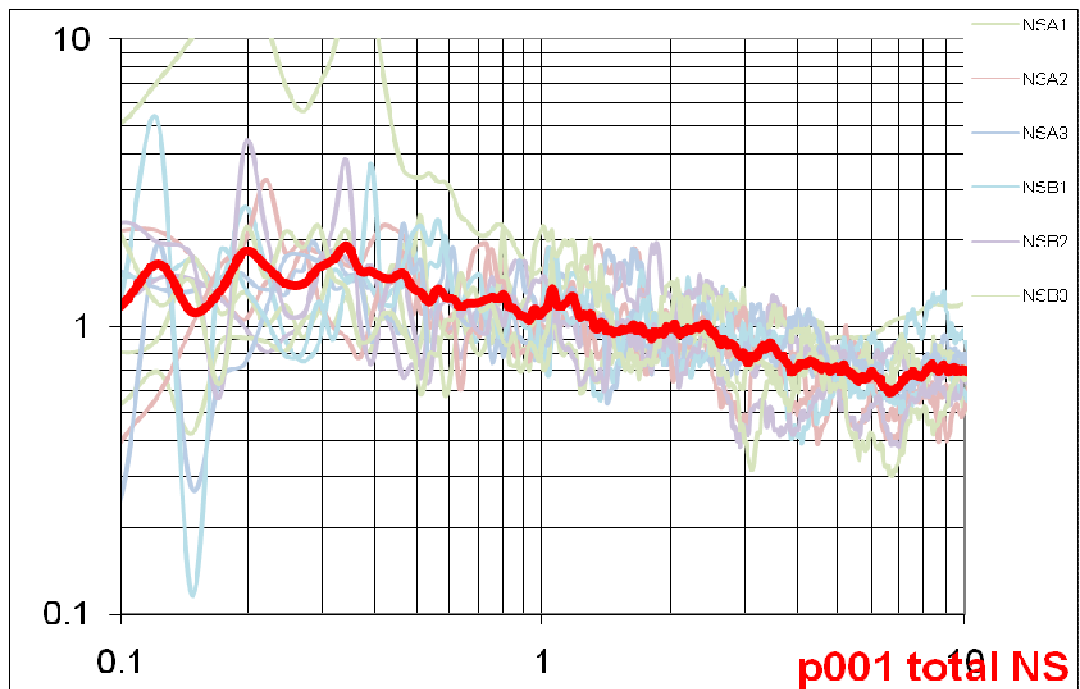
(EW/Z)



San Andrés Tuxtla

Promedio P001

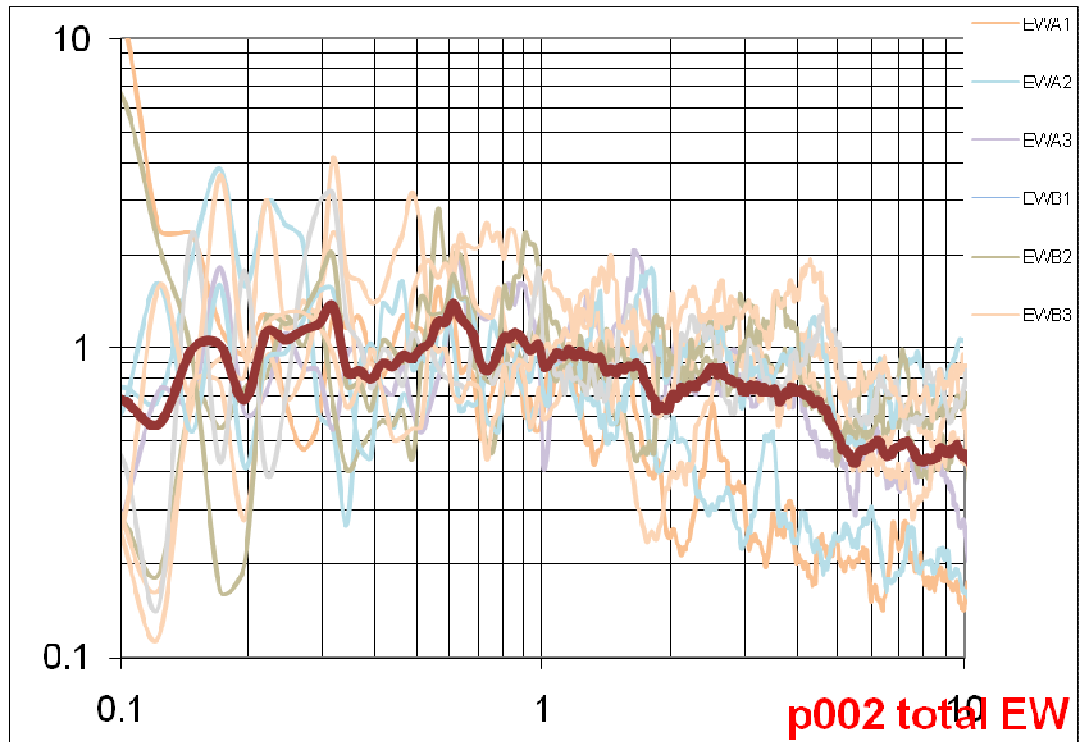
(NS/Z)



San Andrés Tuxtla

Promedio P002

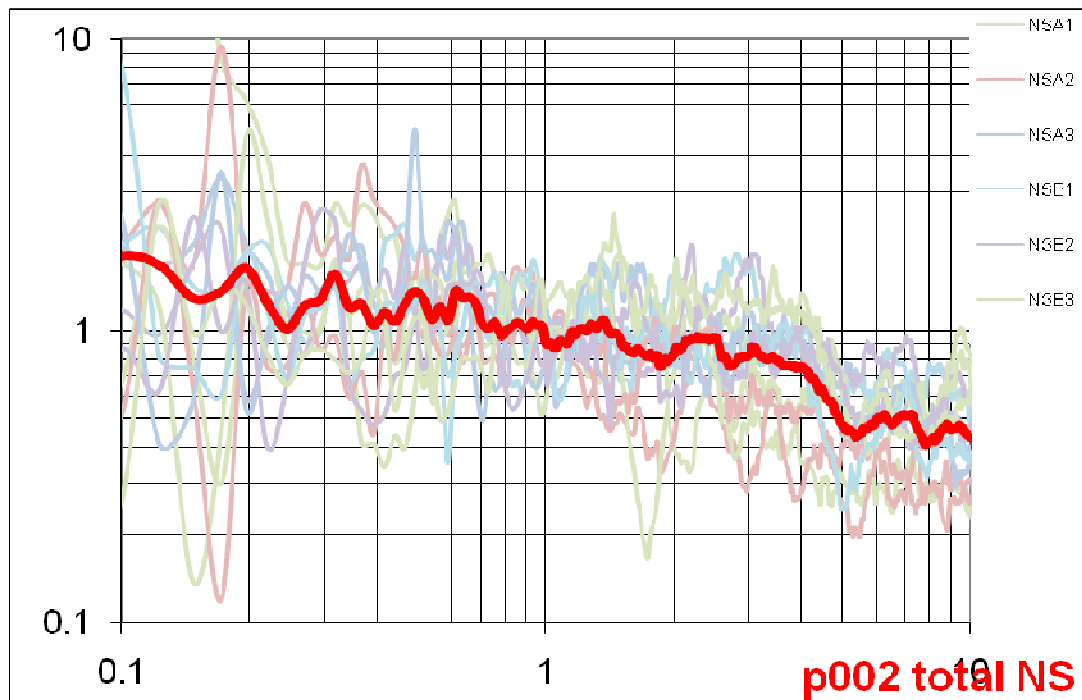
(EW/Z)



San Andrés Tuxtla

Promedio P002

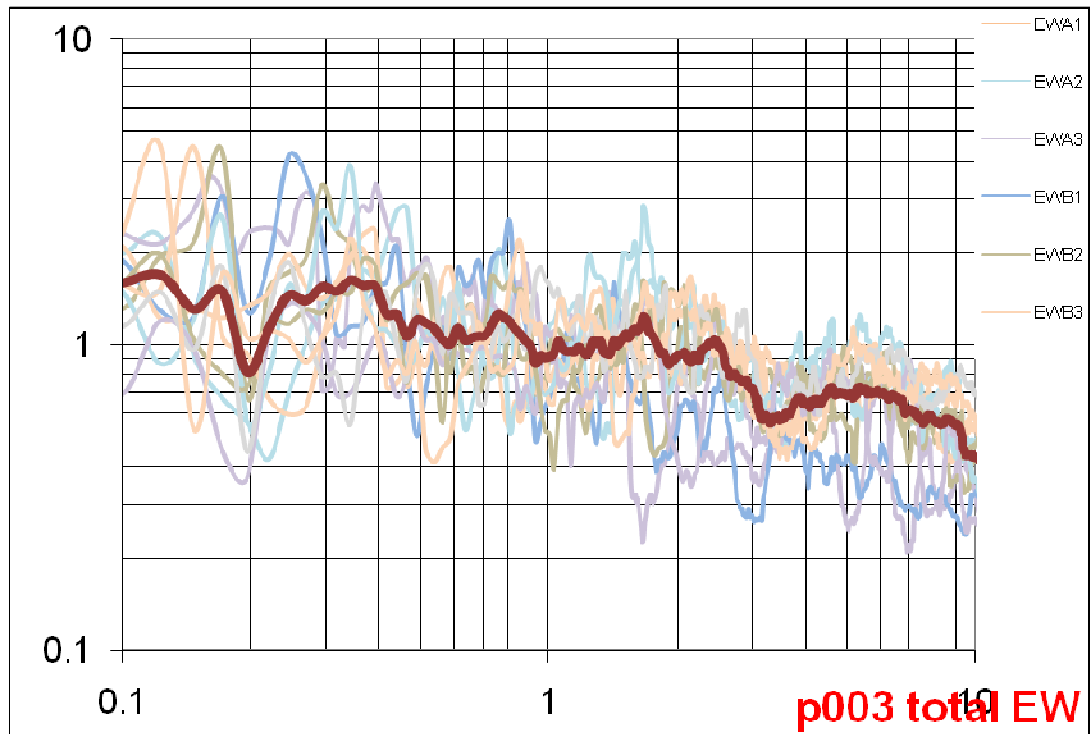
(NS/Z)



San Andrés Tuxtla

Promedio P003

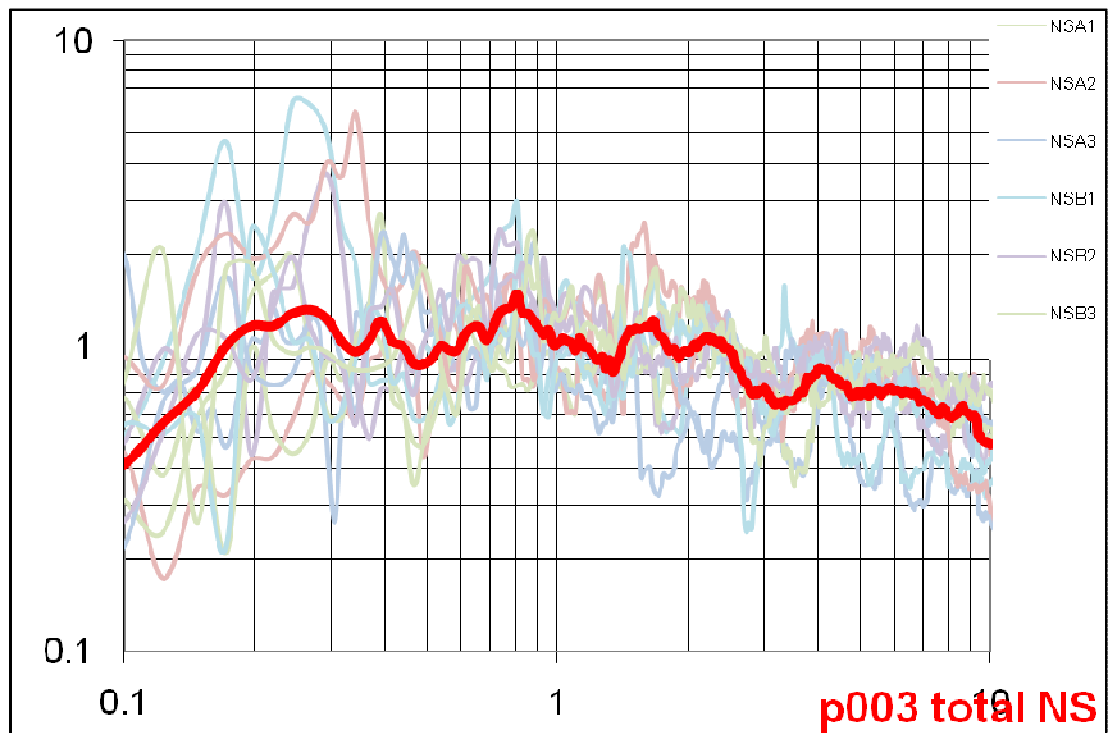
(EW/Z)



San Andrés Tuxtla

Promedio P003

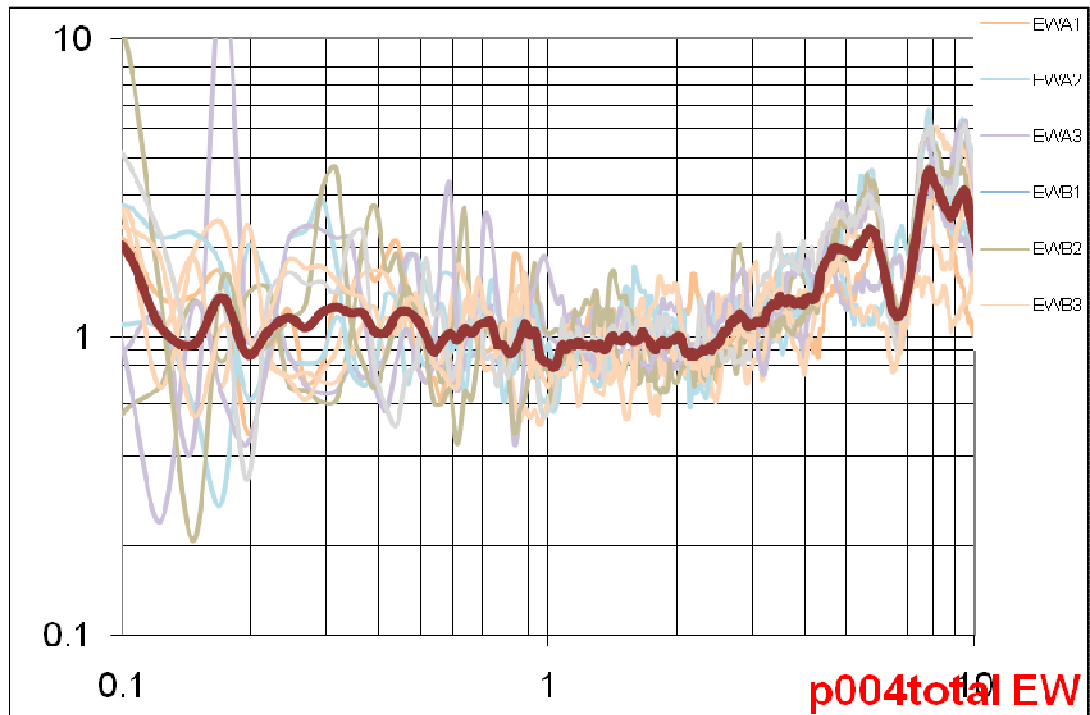
(NS/Z)



San Andrés Tuxtla

Promedio P004

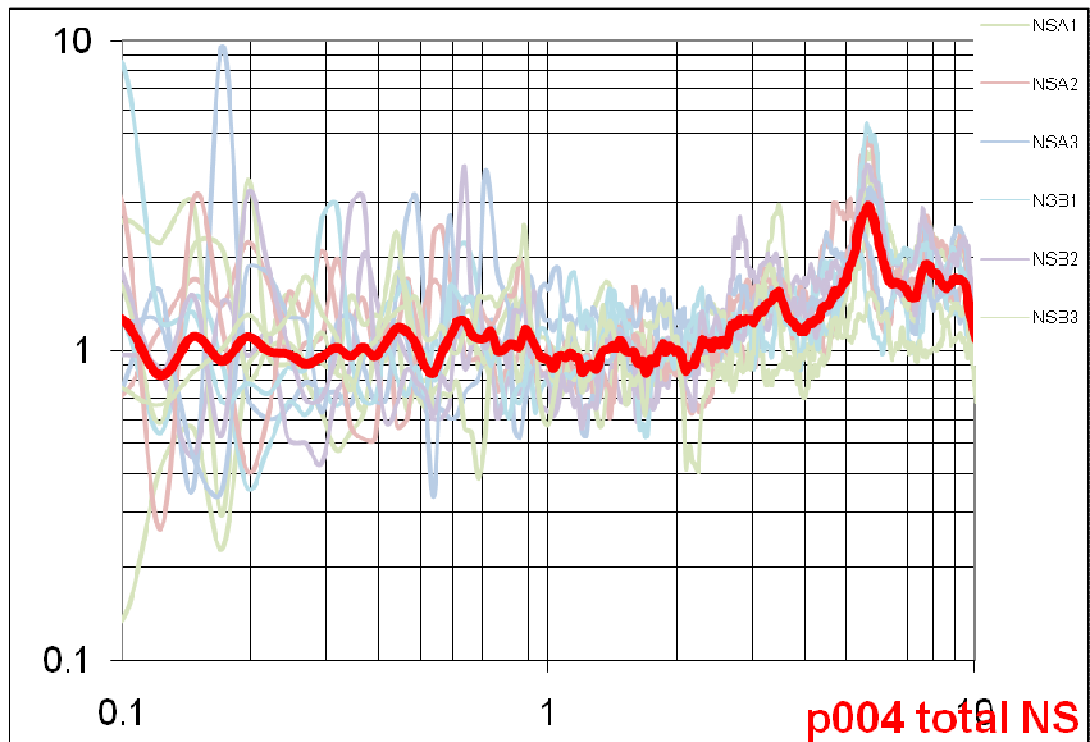
(EW/Z)



San Andrés Tuxtla

Promedio P004

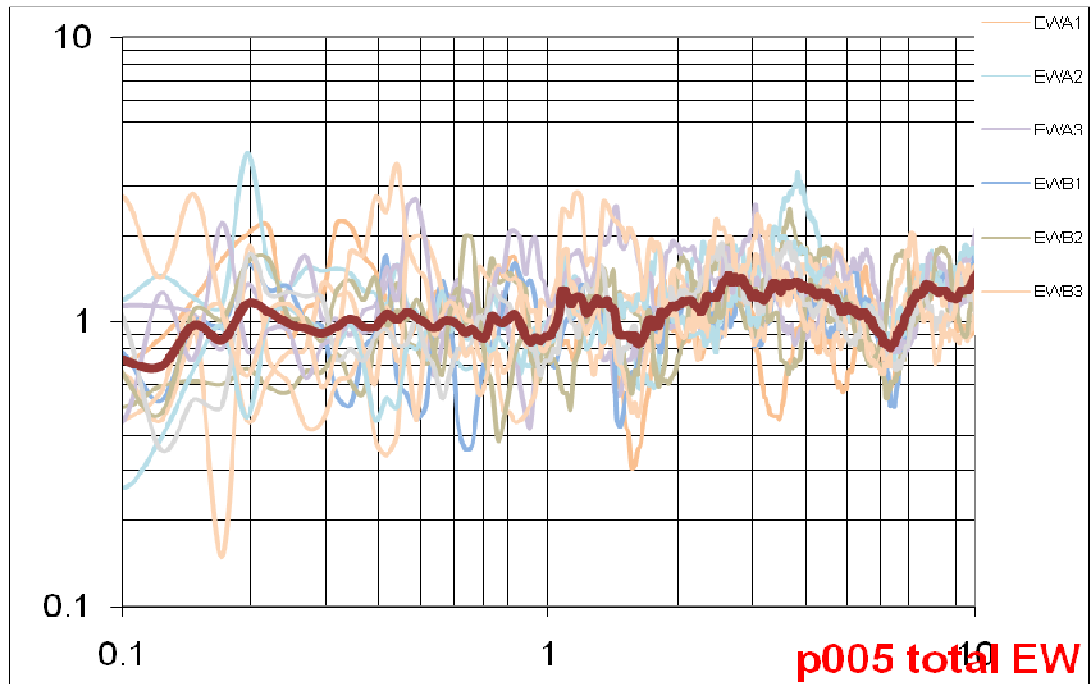
(NS/Z)



San Andrés Tuxtla

Promedio P005

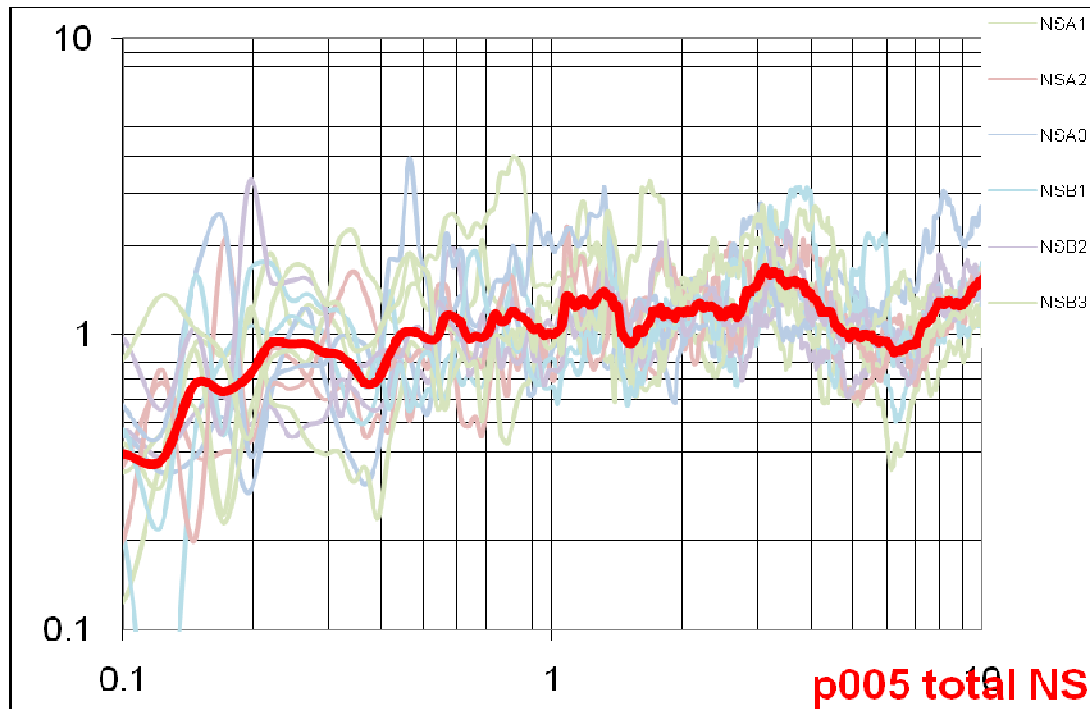
(EW/Z)



San Andrés Tuxtla

Promedio P005

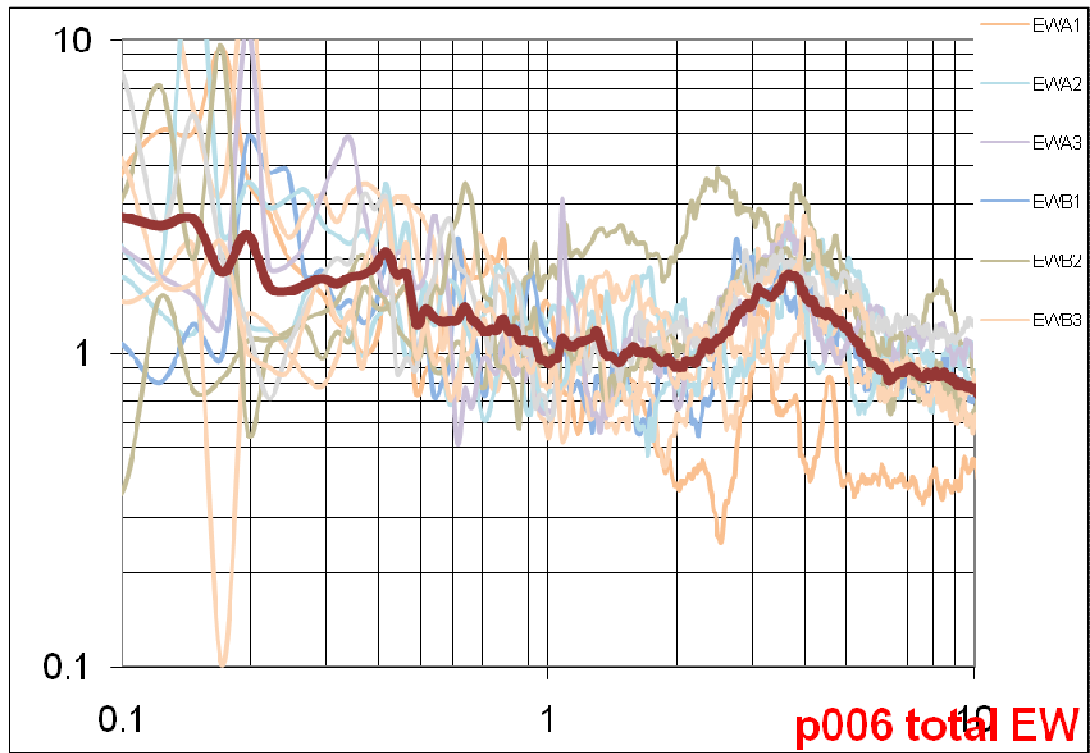
(NS/Z)



San Andrés Tuxtla

Promedio P006

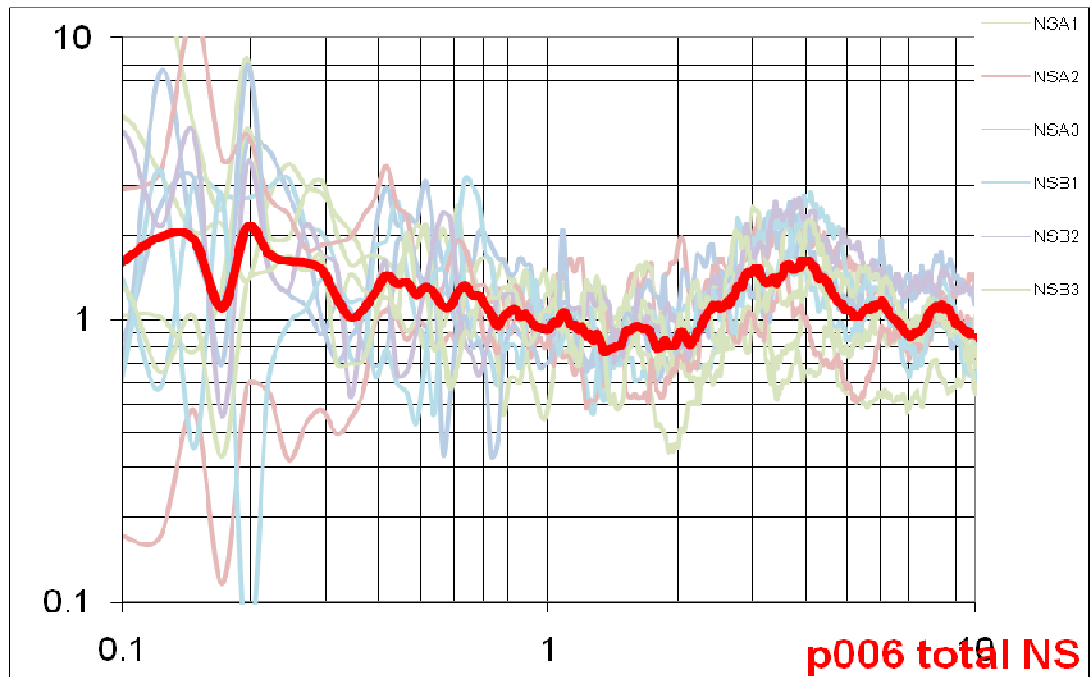
(EW/Z)



San Andrés Tuxtla

Promedio P006

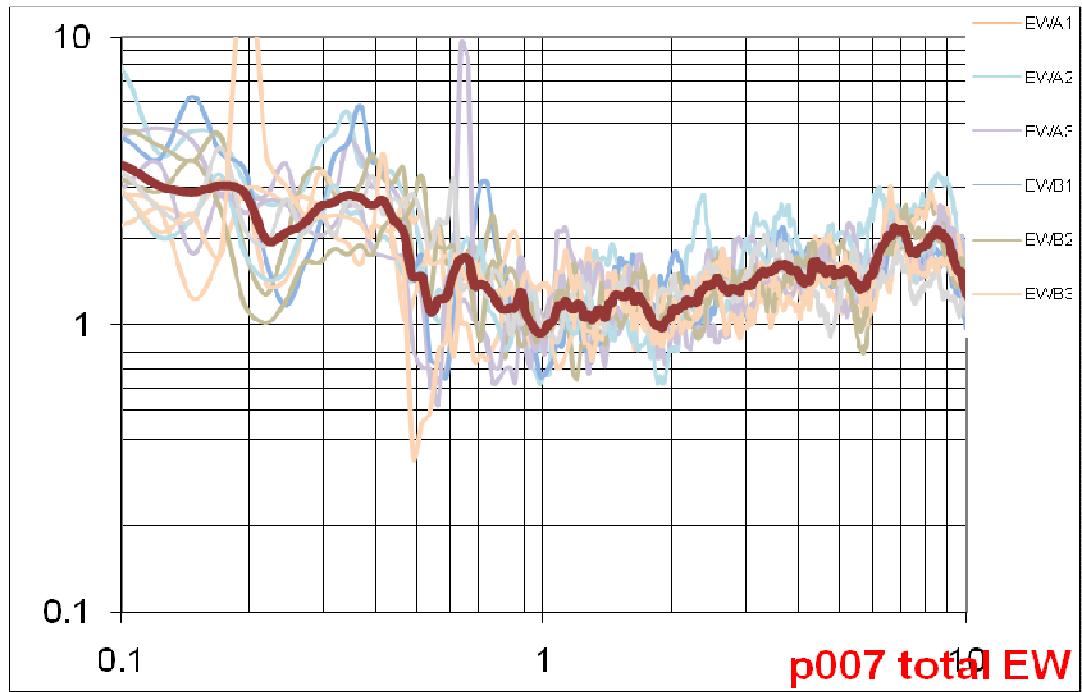
(NS/Z)



San Andrés Tuxtla

Promedio P007

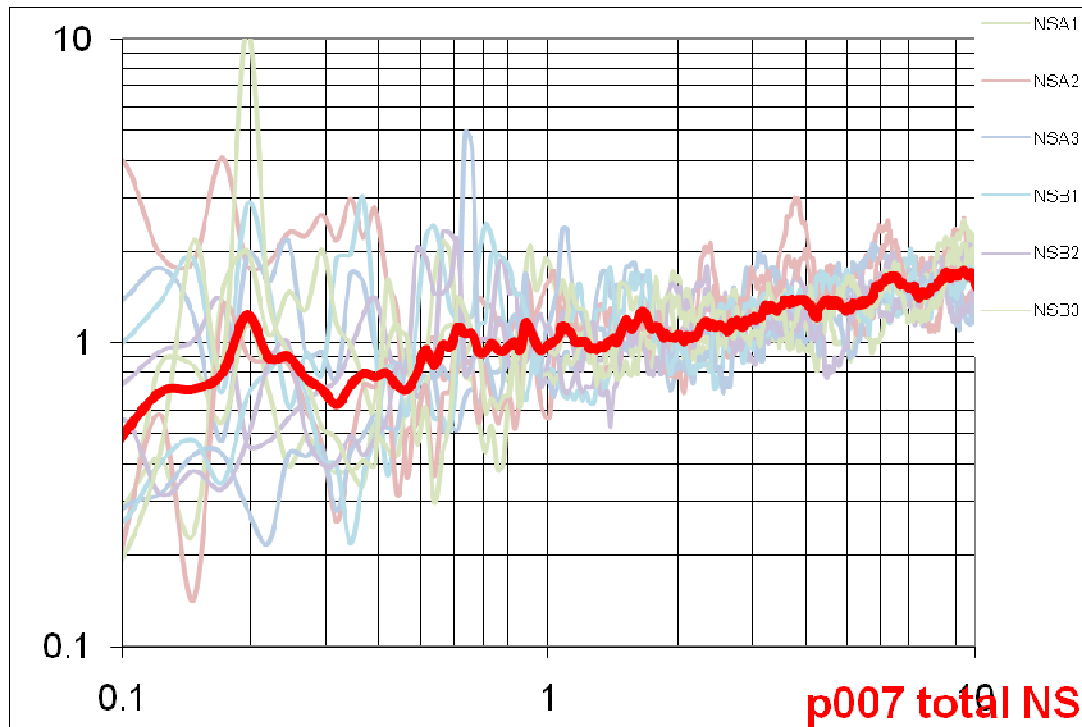
(EW/Z)



San Andrés Tuxtla

Promedio P007

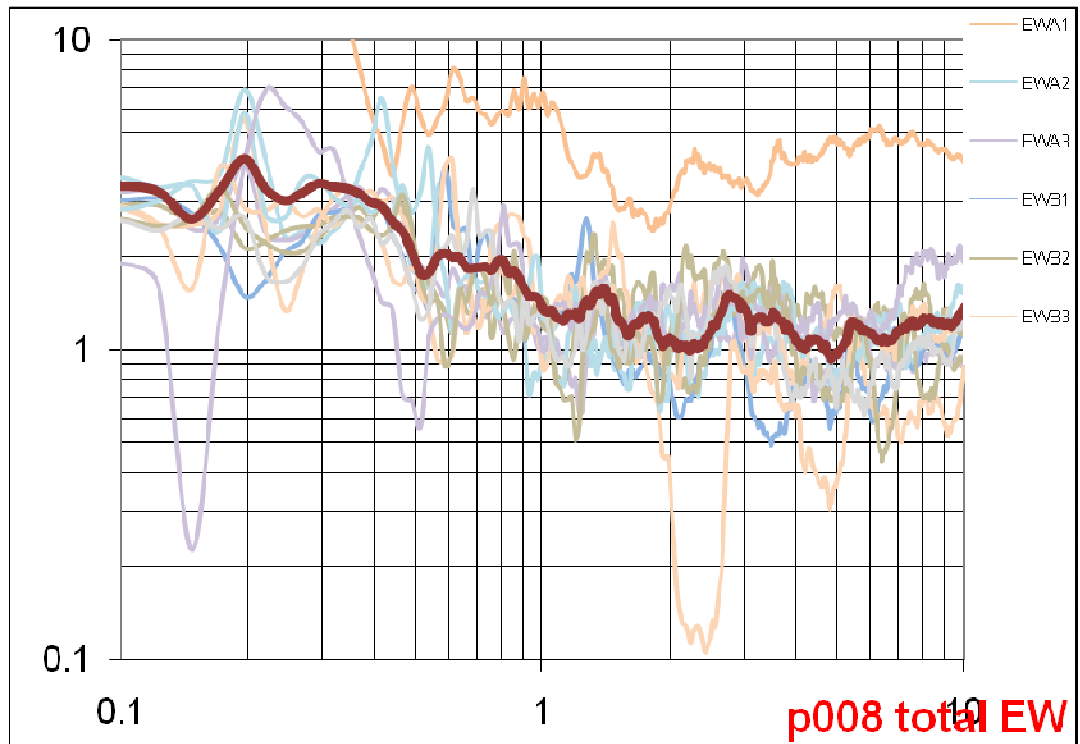
(NS/Z)



San Andrés Tuxtla

Promedio P008

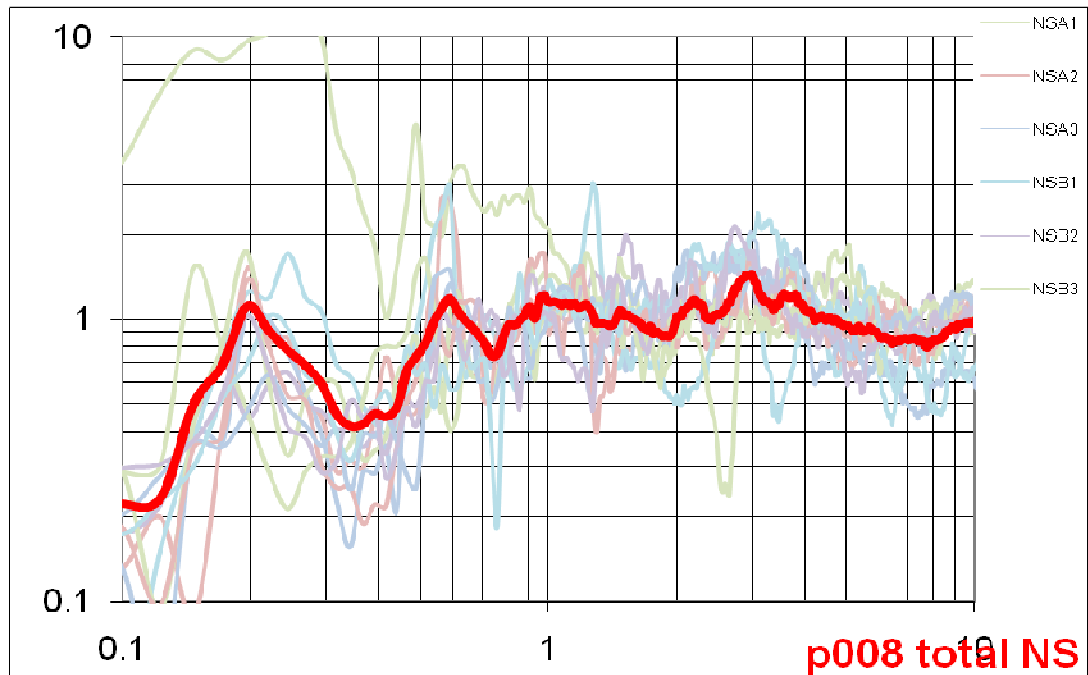
(EW/Z)



San Andrés Tuxtla

Promedio P008

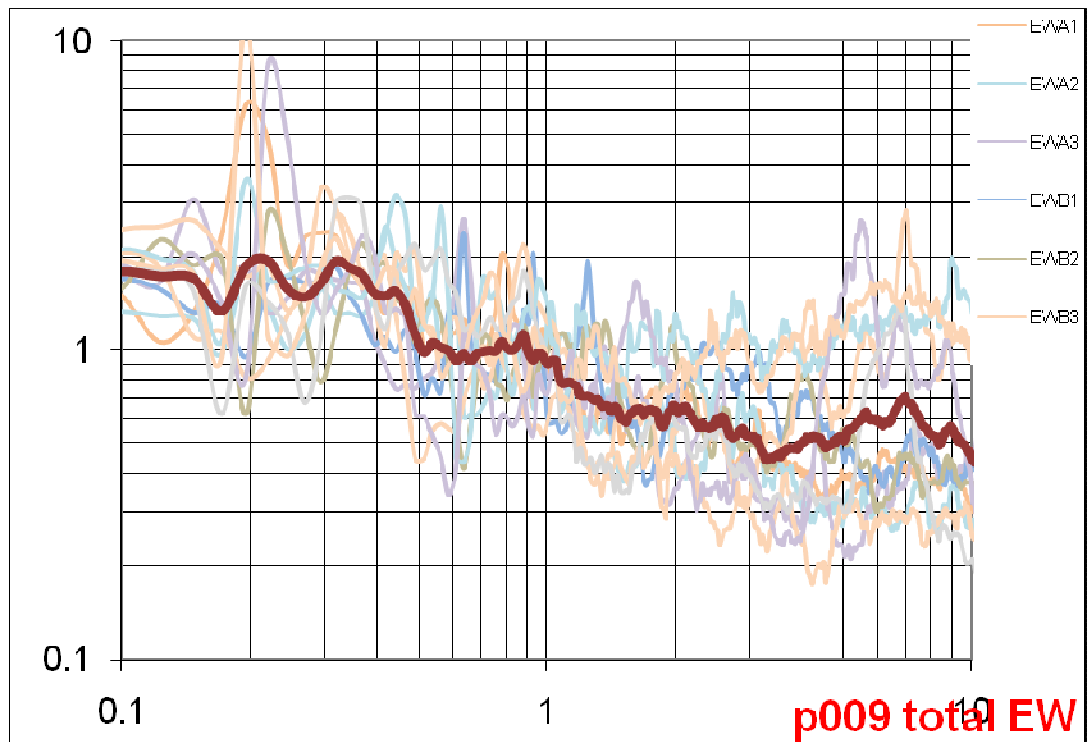
(NS/Z)



San Andrés Tuxtla

Promedio P009

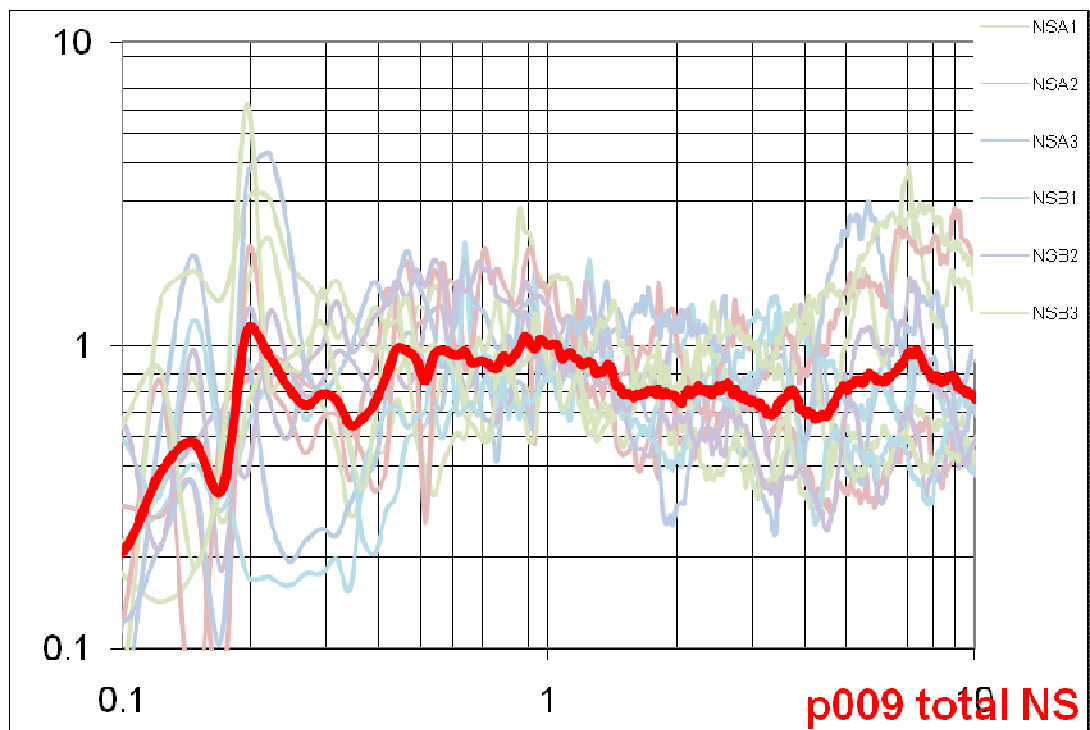
(EW/Z)



San Andrés Tuxtla

Promedio P009

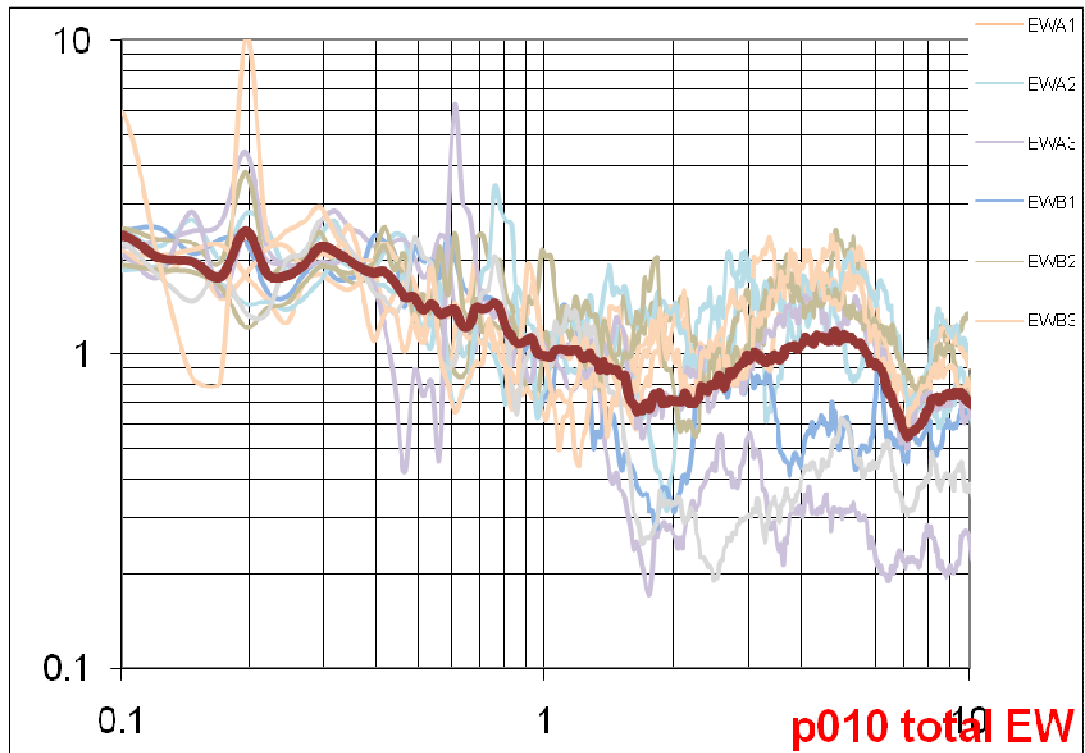
(NS/Z)



San Andrés Tuxtla

Promedio P010

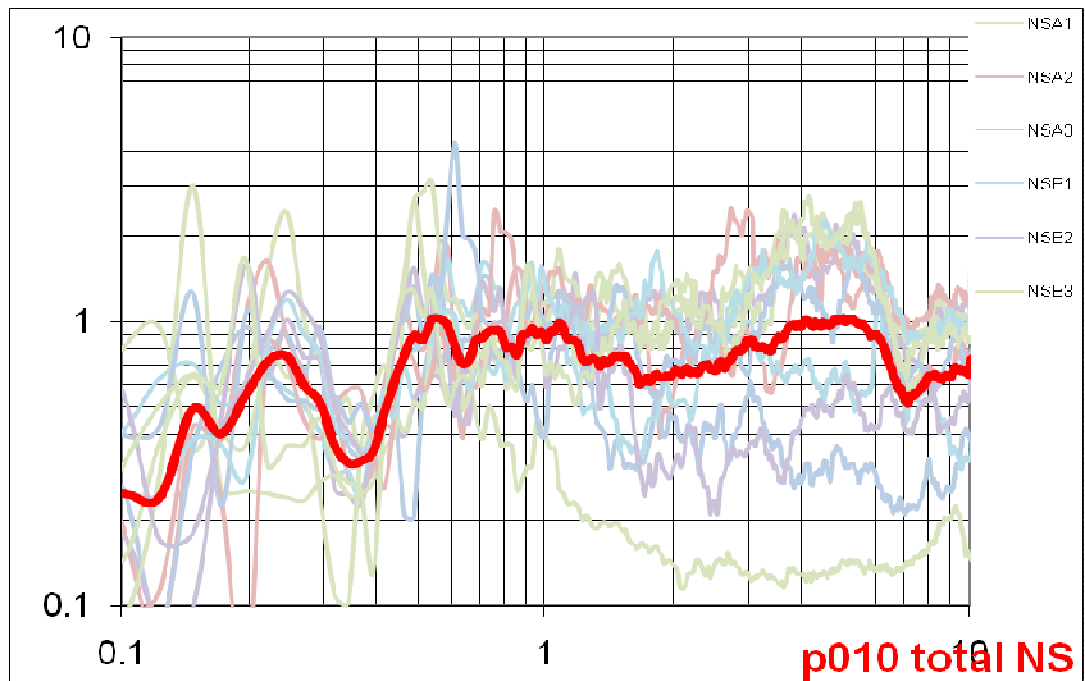
(EW/Z)



San Andrés Tuxtla

Promedio P010

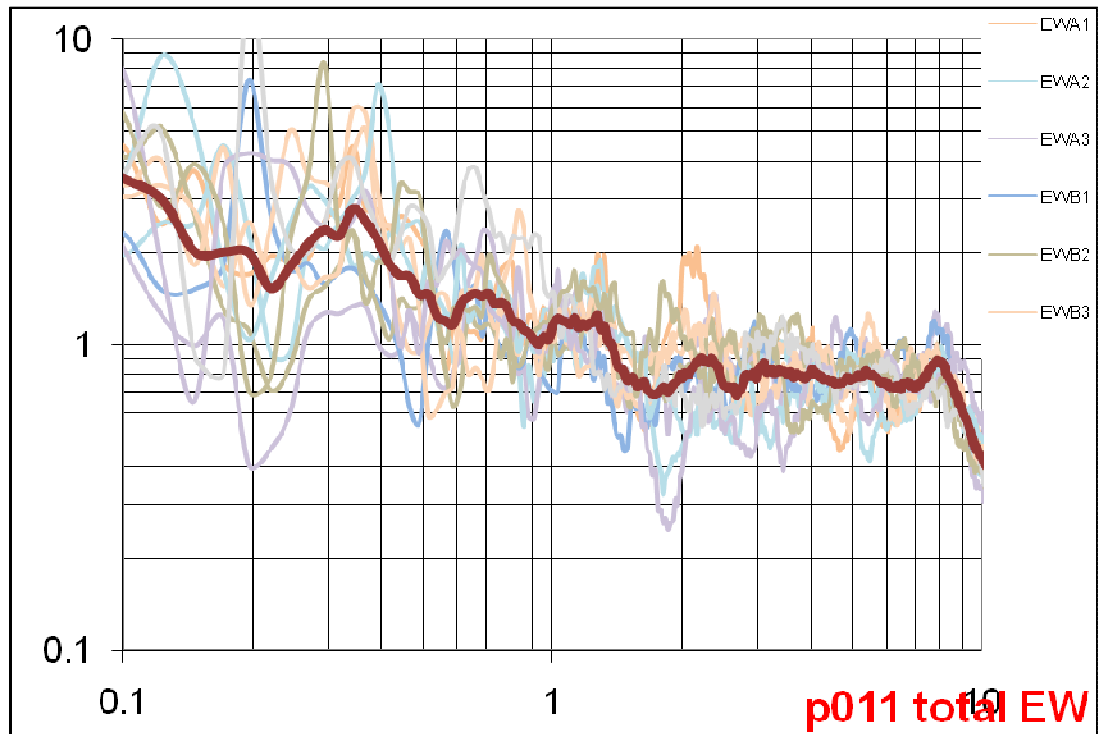
(NS/Z)



San Andrés Tuxtla

Promedio P011

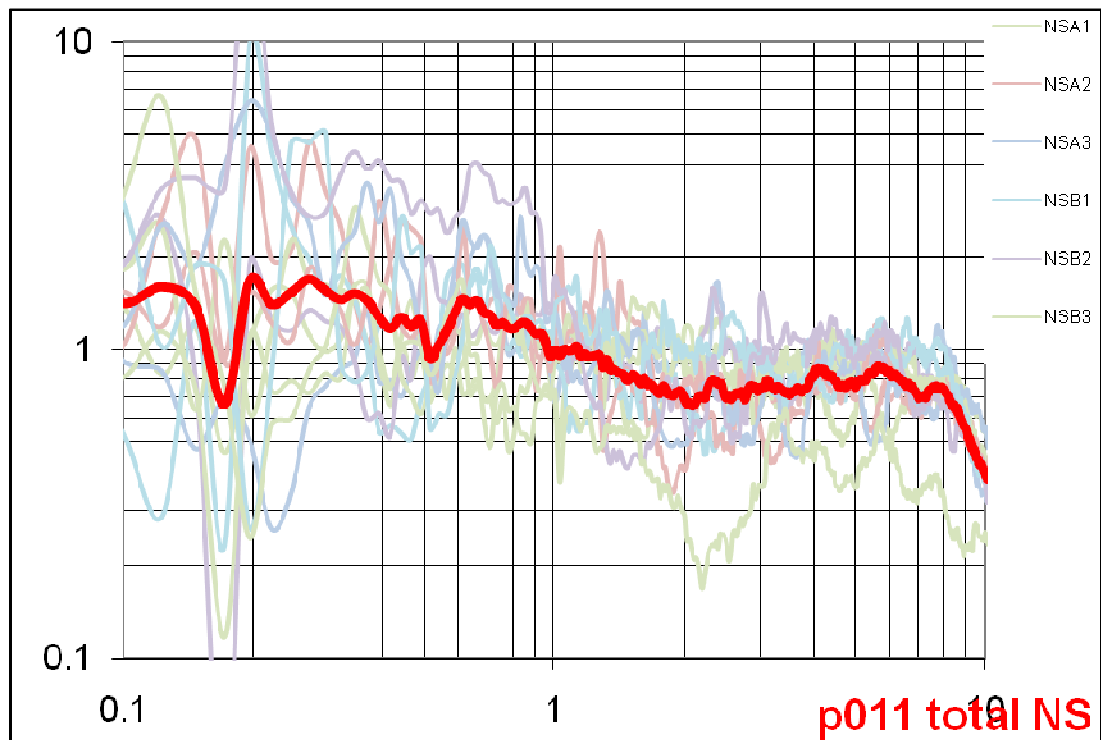
(EW/Z)



San Andrés Tuxtla

Promedio P011

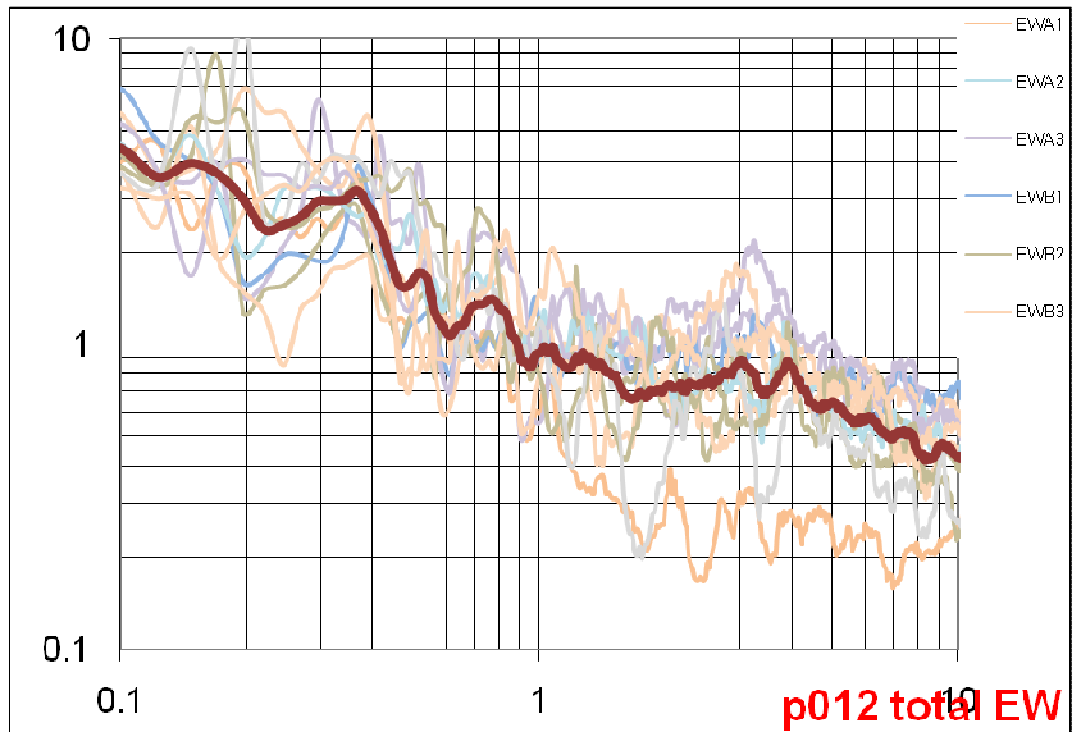
(NS/Z)



San Andrés Tuxtla

Promedio P012

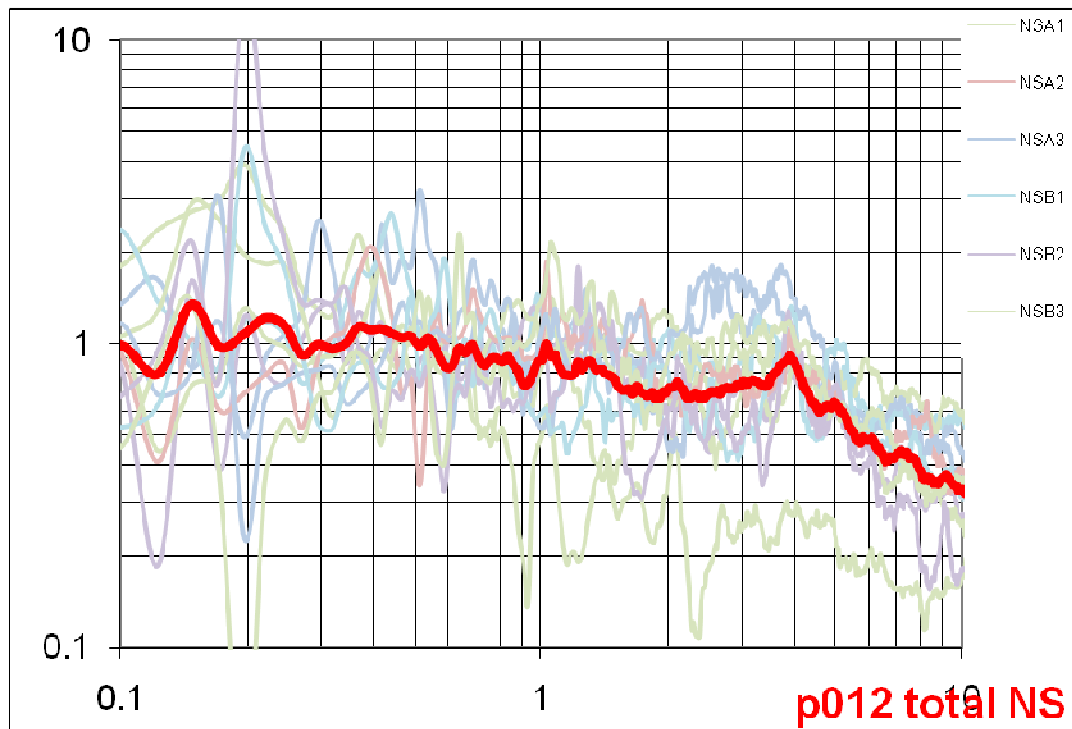
(EW/Z)



San Andrés Tuxtla

Promedio P012

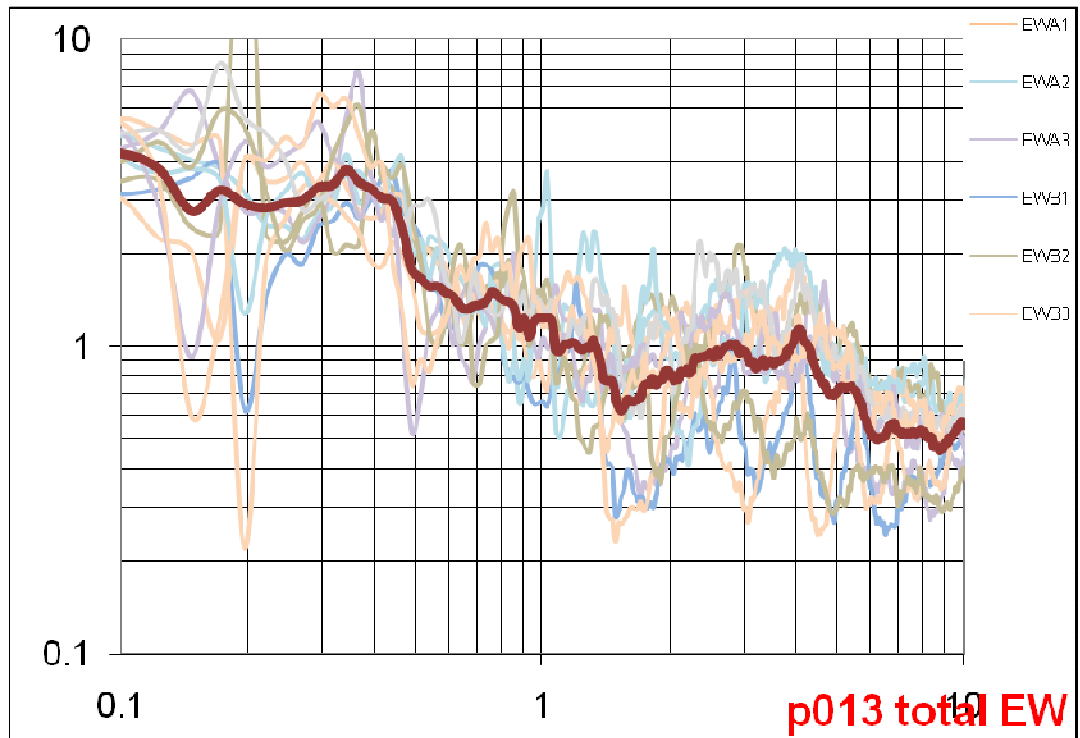
(NS/Z)



San Andrés Tuxtla

Promedio P013

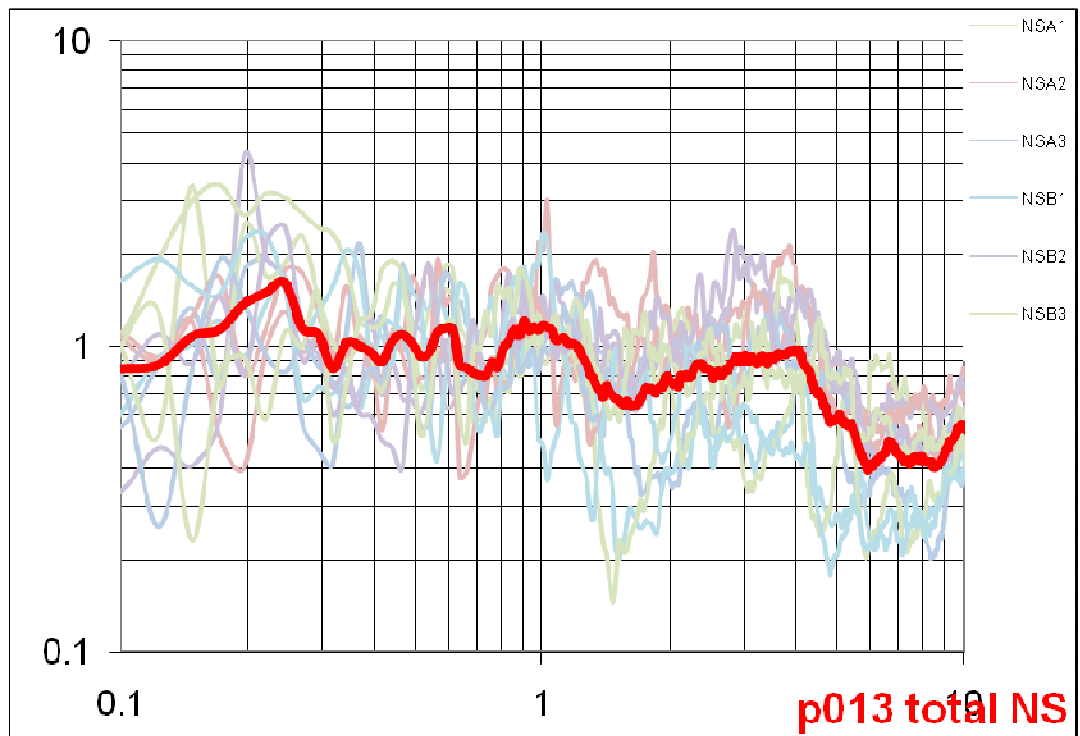
(EW/Z)



San Andrés Tuxtla

Promedio P013

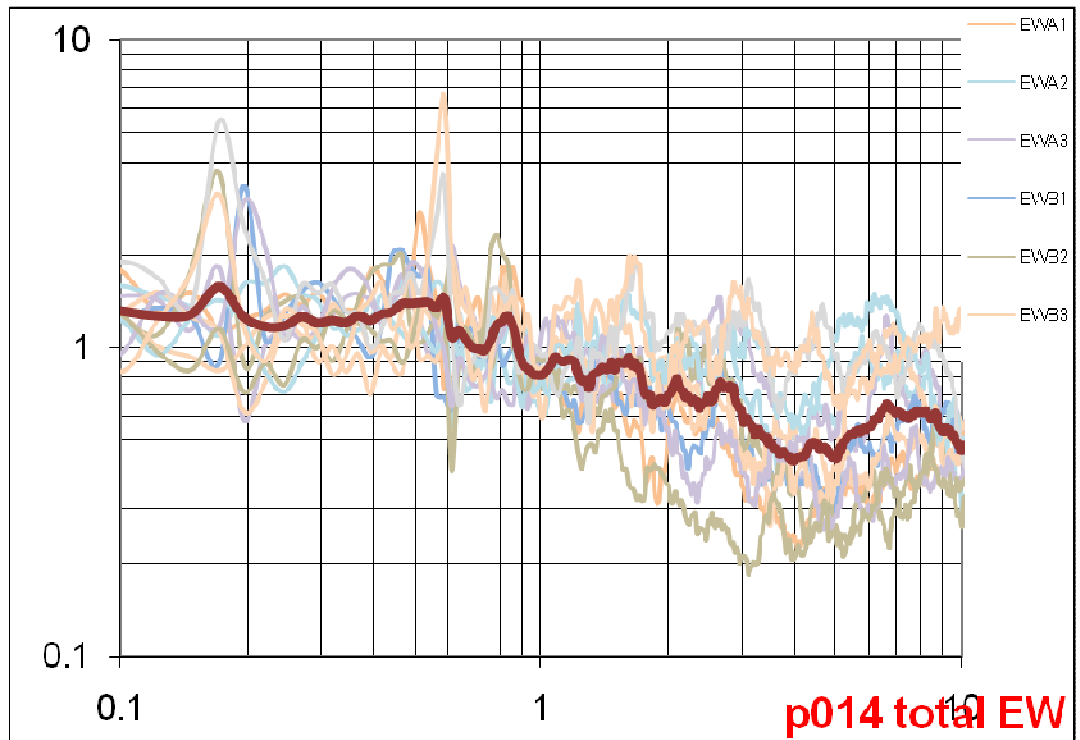
(NS/Z)



San Andrés Tuxtla

Promedio P014

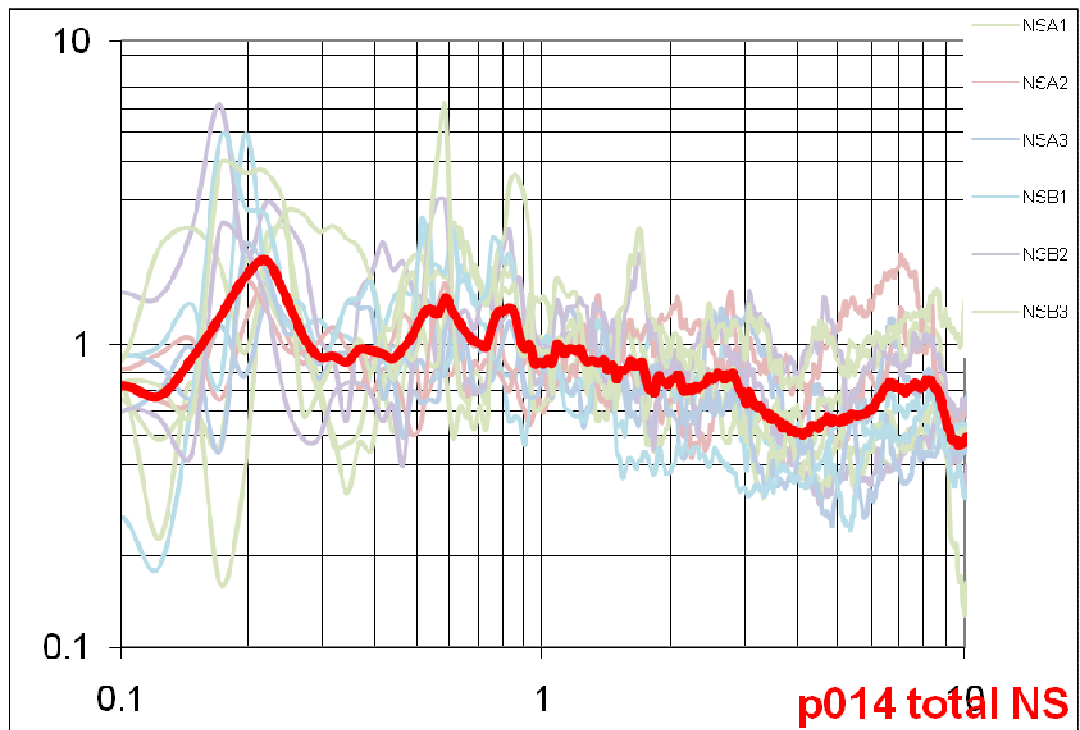
(EW/Z)



San Andrés Tuxtla

Promedio P014

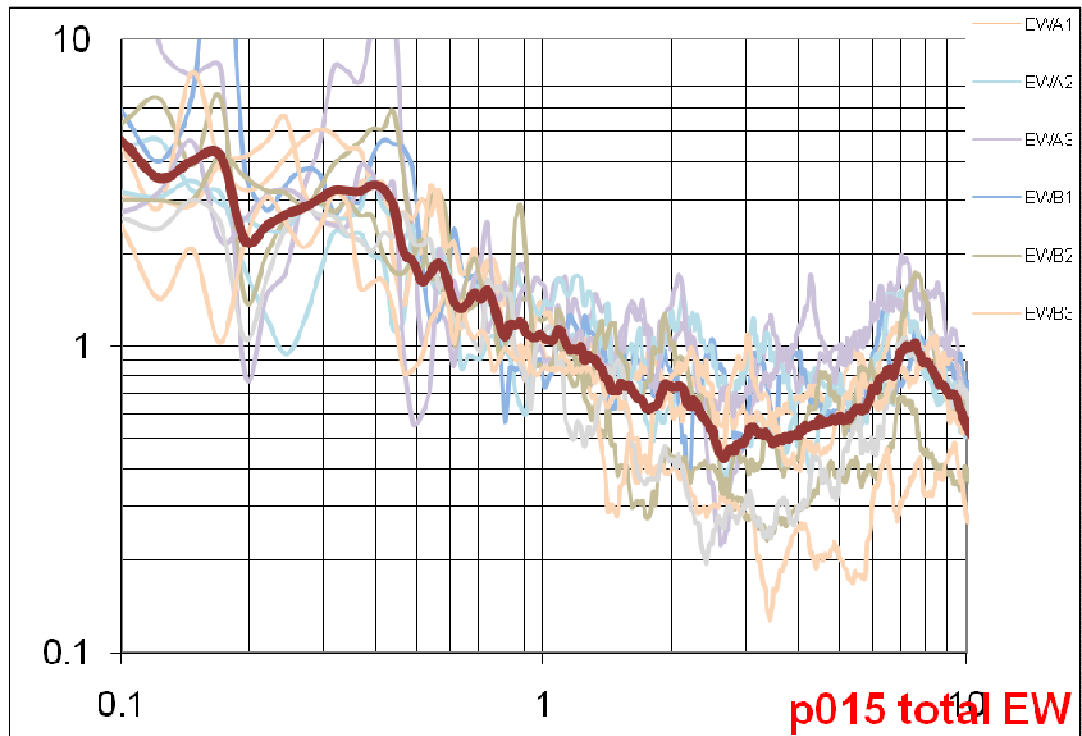
(NS/Z)



San Andrés Tuxtla

Promedio P015

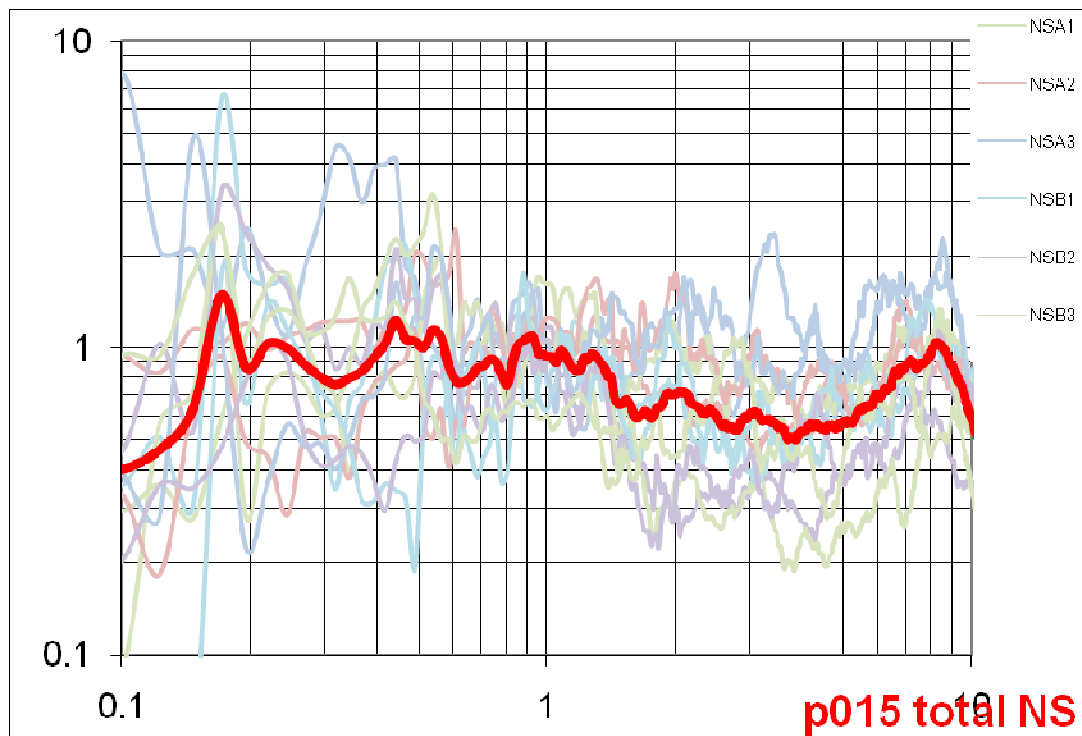
(EW/Z)



San Andrés Tuxtla

Promedio P015

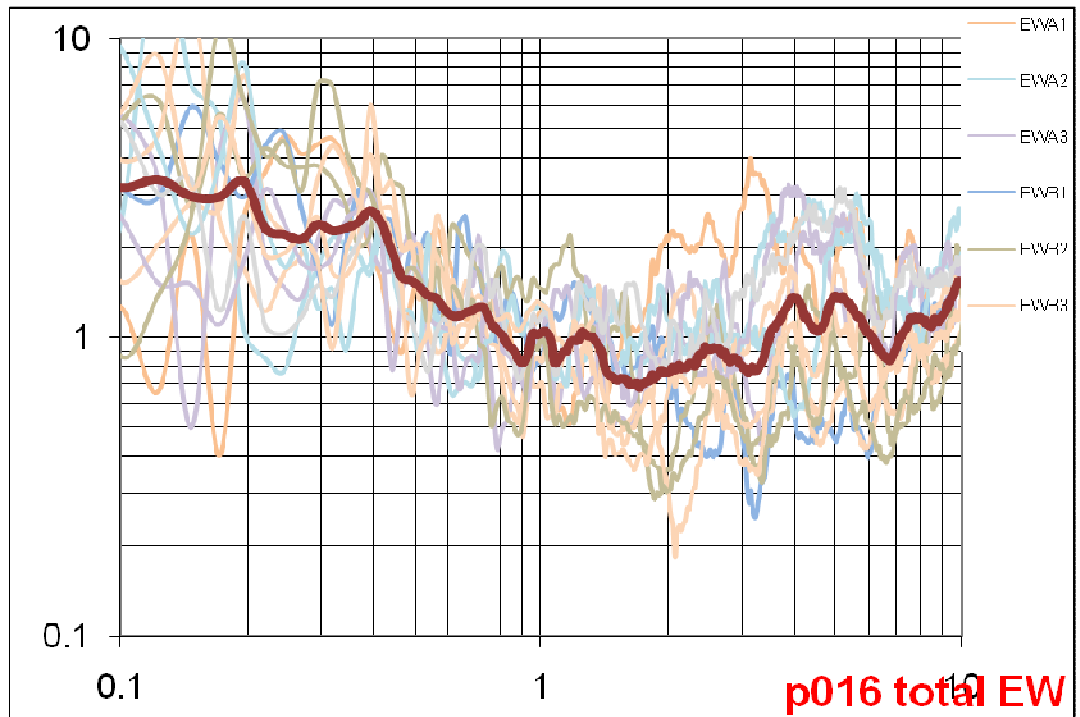
(NS/Z)



San Andrés Tuxtla

Promedio P016

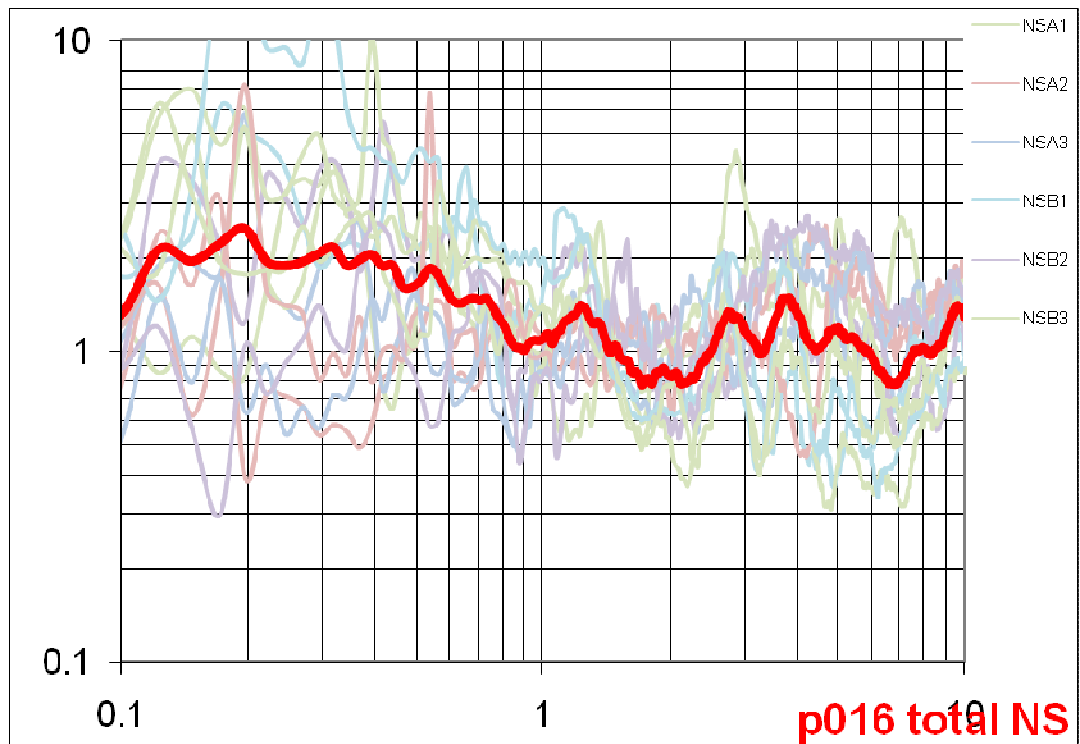
(EW/Z)



San Andrés Tuxtla

Promedio P016

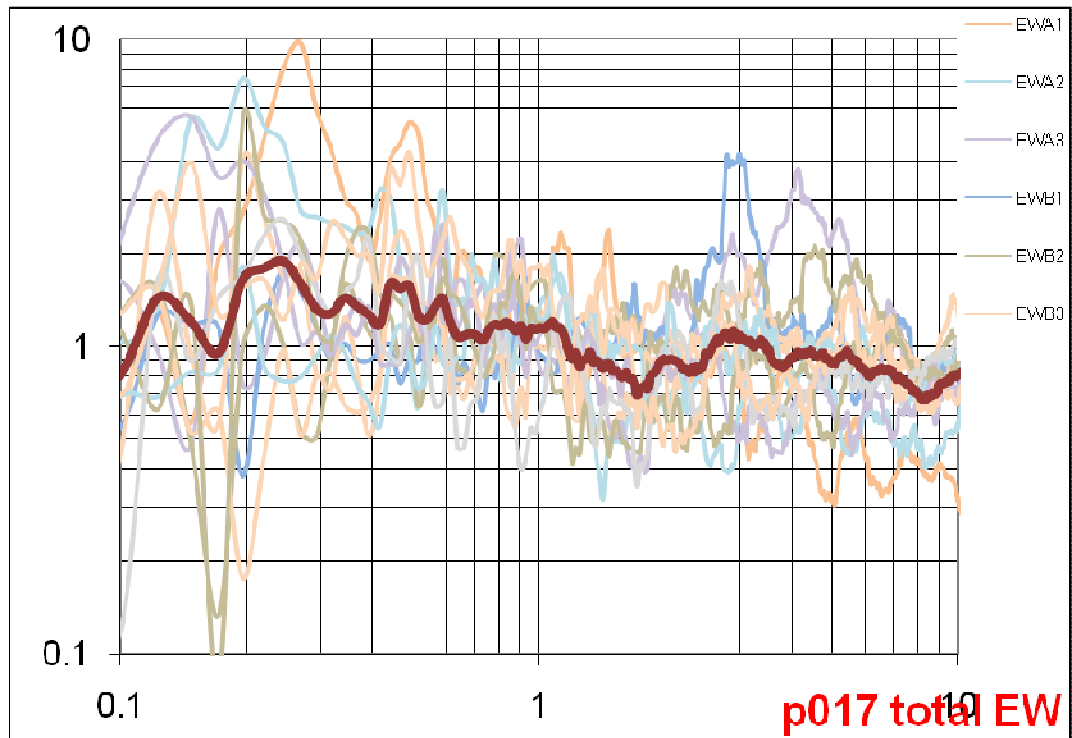
(NS/Z)



San Andrés Tuxtla

Promedio P017

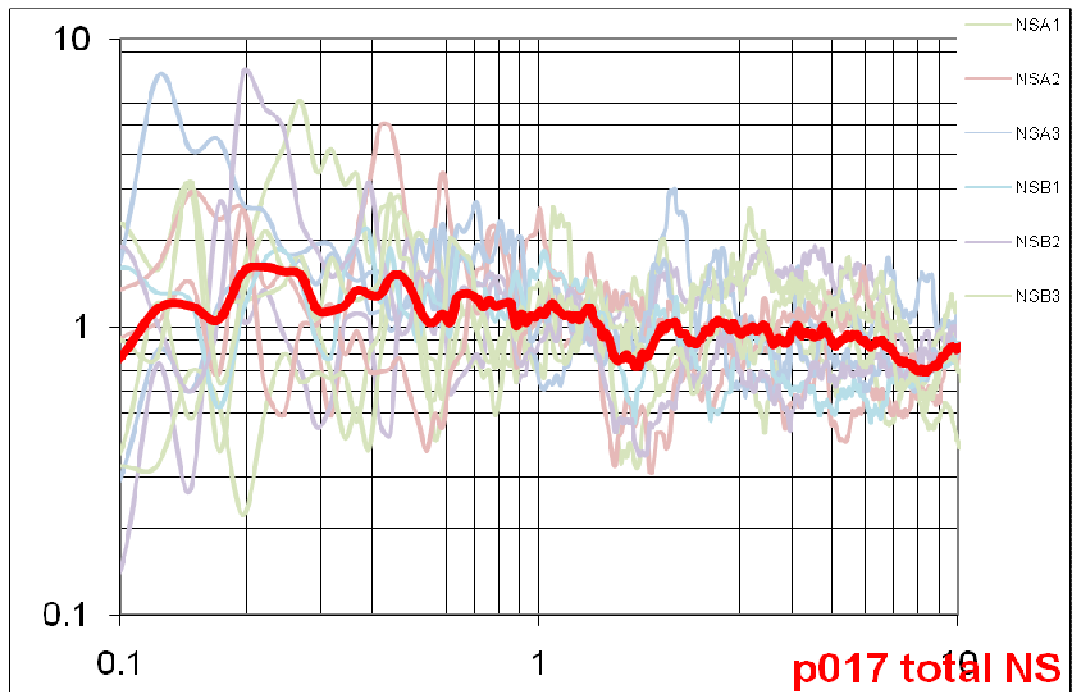
(EW/Z)



San Andrés Tuxtla

Promedio P017

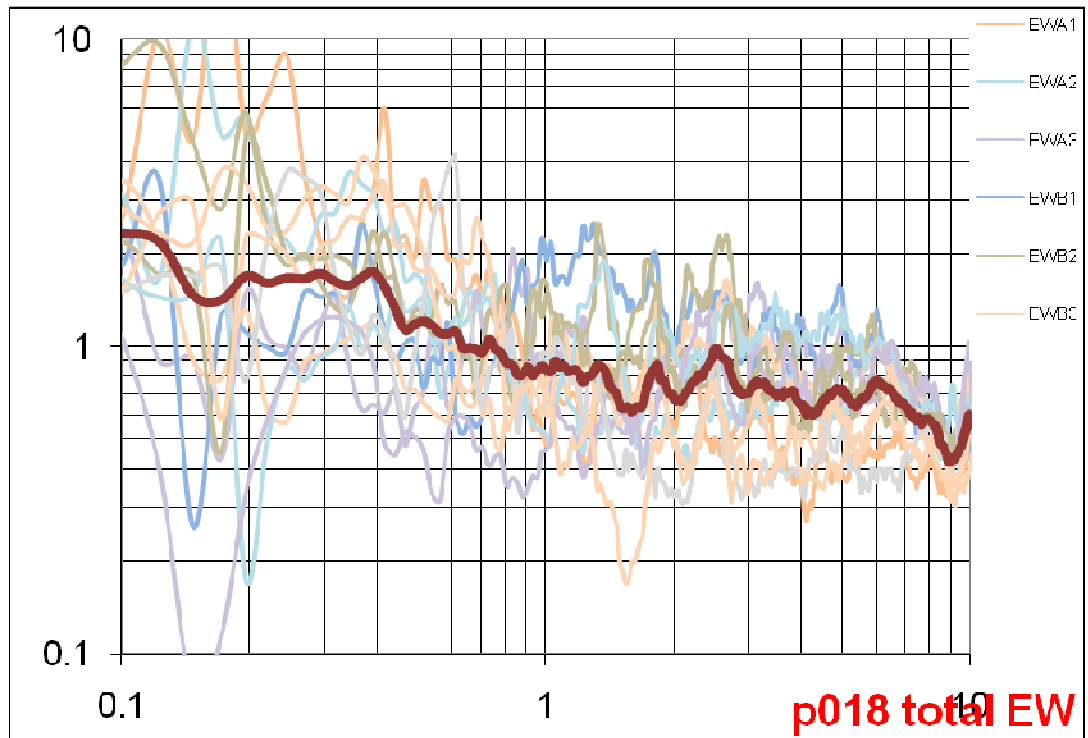
(NS/Z)



San Andrés Tuxtla

Promedio P018

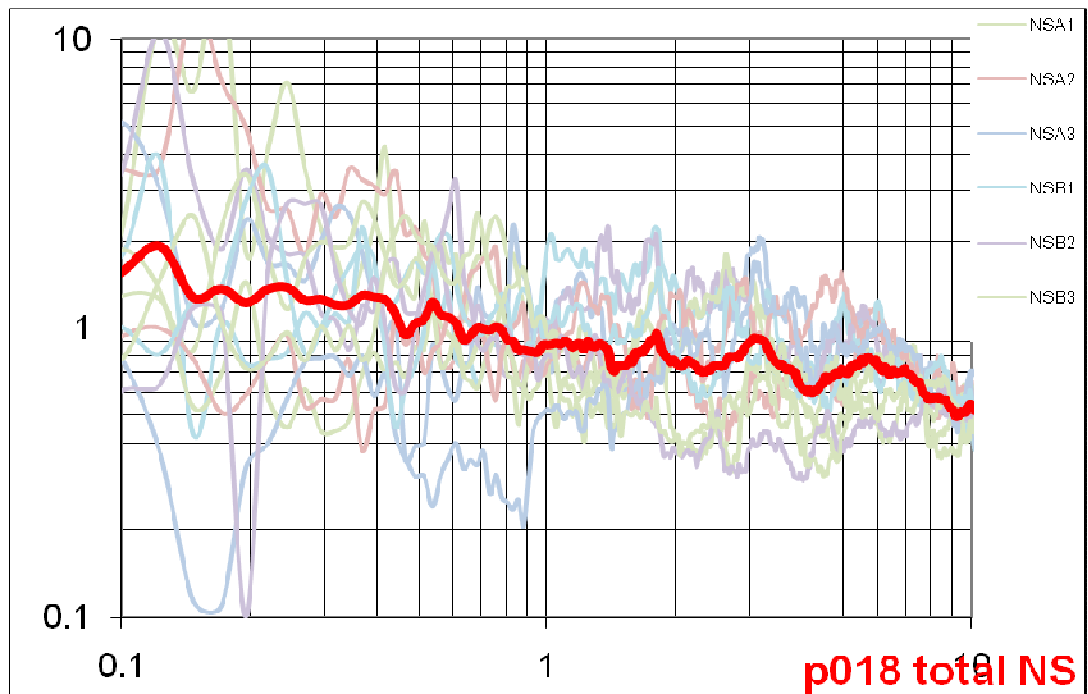
(EW/Z)



San Andrés Tuxtla

Promedio P018

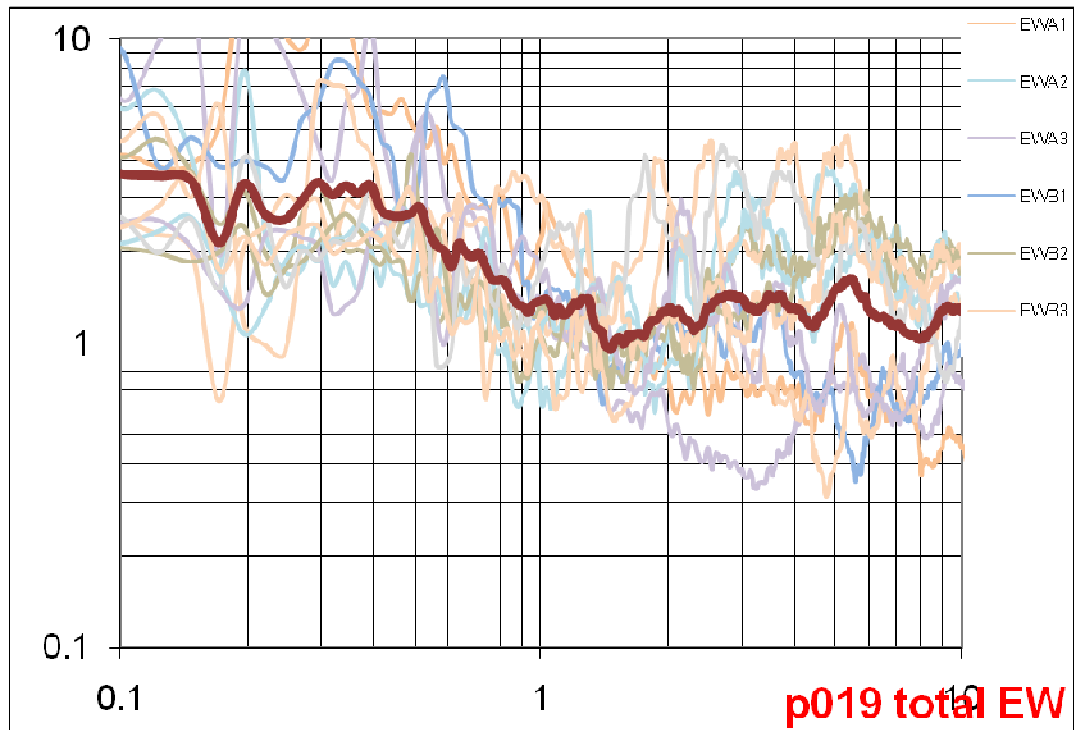
(NS/Z)



San Andrés Tuxtla

Promedio P019

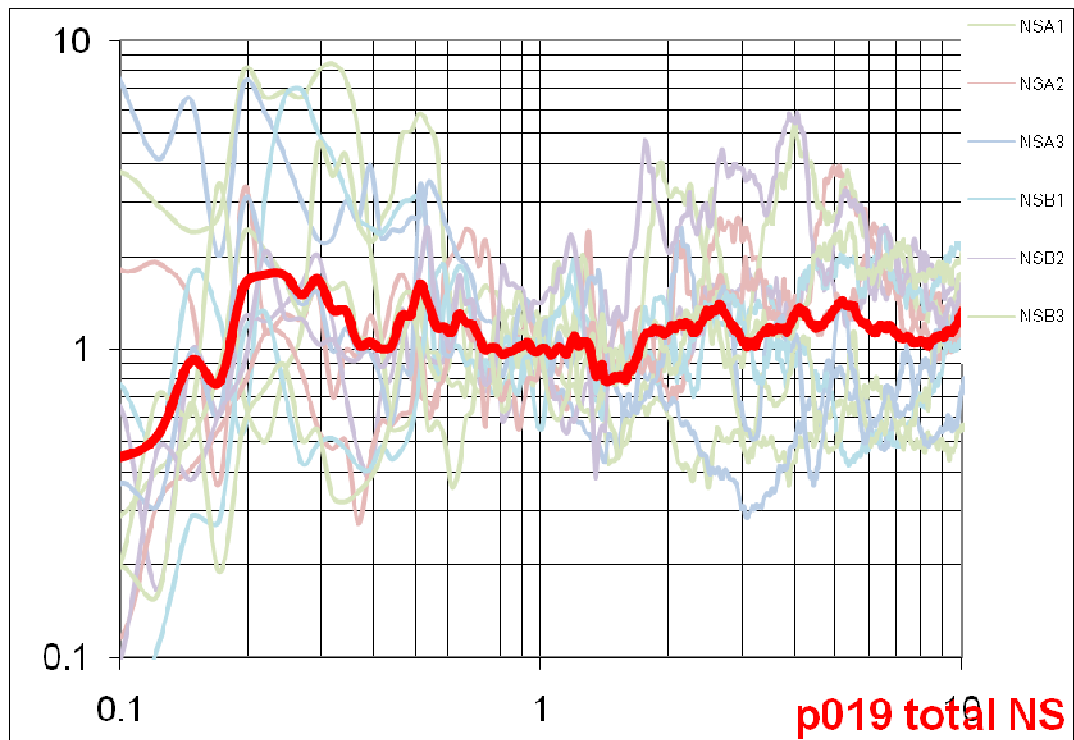
(EW/Z)



San Andrés Tuxtla

Promedio P019

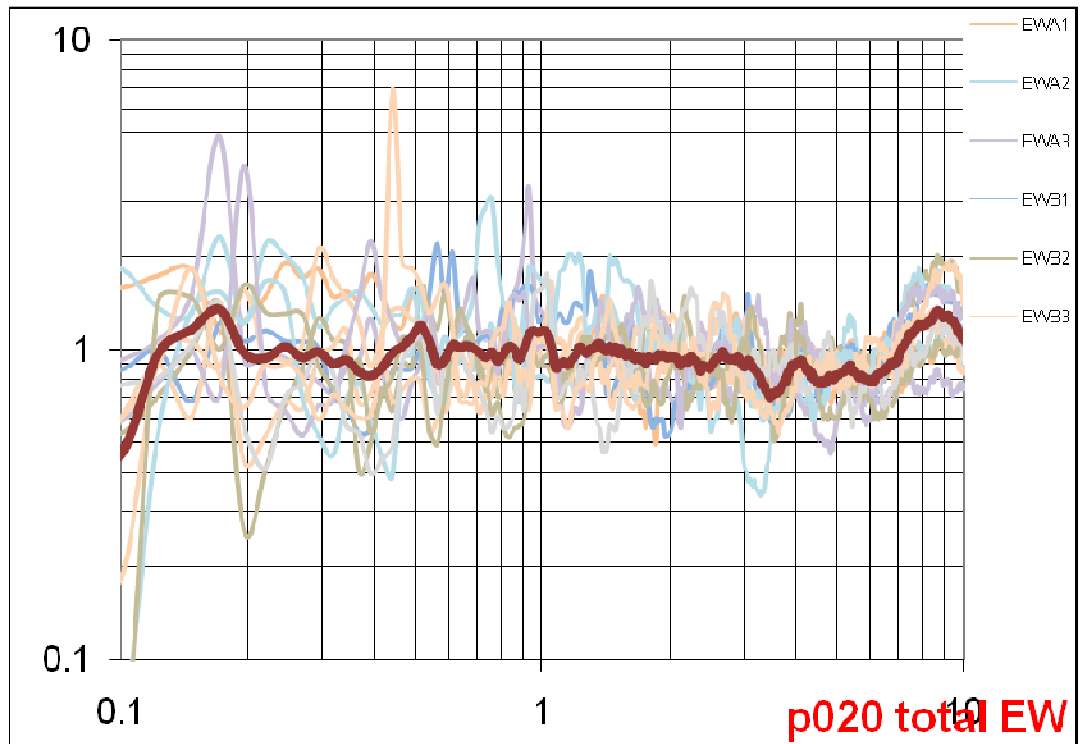
(NS/Z)



San Andrés Tuxtla

Promedio P020

(EW/Z)



San Andrés Tuxtla

Promedio P020

(NS/Z)

