

Ruido Sísmico Ambiental de la Red Banda Ancha OV – OVSICORI-UNA

Billy Burgoa Rosso
OVSICORI-UNA
17 de Agosto de 2012

Agenda

1) Introducción

1.1 Definición de ruido sísmico y sus fuentes.

1.2 Objetivos del presente estudio.

1.3 La red de estaciones de banda ancha, tipos de sensores y de construcción de sitio.

2) Metodología para analizar el ruido sísmico ambiental.

2.1 Power spectral Density (PSD) y Probabilistic Density Function (PDF).

2.2 Modelos de Ruido fondo de Peterson, 1993

3) Resultados del Análisis con PSD y PDF.

4) Modelo estadístico de mínimo ruido ambiental de la red de banda ancha de Costa Rica. (MNLPCR)

5) Variaciones: Diurnas-Nocturnas, estacionales y geográficas del nivel de ruido.

5.1 Aumento energético debido a un fenómeno meteorológico en el año Octubre de 2011.

5.2 Niveles de ruido a diferentes bandas de frecuencia en Costa Rica.

Agenda

6) Umbral de detección de la red sísmica de banda ancha de OVSICORI.

6.1 Metodología para cuantificar el umbral detección.

6.2 Mapas de umbrales detección.

7) El problema de la estación DUNO.

7.1 Comparación del registro sísmico de DUNO y DUNT

8) Problemas encontrados durante el análisis.

9) Conclusiones y Recomendaciones

1.1 Definición de ruido sísmico y las fuentes que generan.

Definición de Ruido

- Diferentes fuentes naturales y artificiales generan ruido sísmico ambiental.
- Se puede definir al ruido sísmico como una señal sísmica en ausencia de señales trascendentales de interés, tales como terremotos.
- El ruido sísmico es parte del registro y trae consigo información, tanto de la fuente que lo genera así como del medio por el que se transporta.
- Depende del trabajo que se realice, el ruido se convierte en parte importante del trabajo o también una señal que puede enmascarar la energía de interés.

1.1 Definición de ruido sísmico y las fuentes que generan.

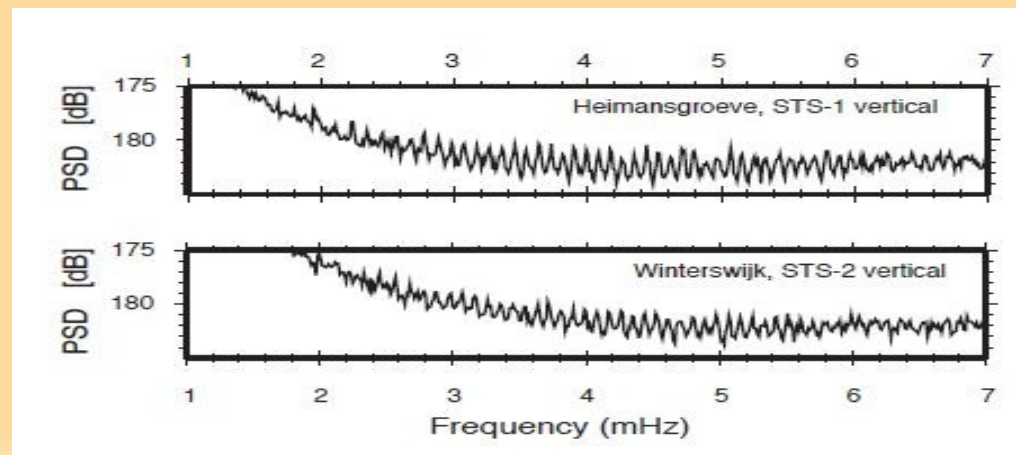
- Si se toma un registro de manera aleatoria, en un determinado tiempo, lo más probable es que se encuentre ruido sísmico.
- Ya que el ruido es un proceso estocástico (impredecible) y con bastante probabilidad de ocurrir se puede realizar una estudio estadístico del mismo.
- A pesar de que el ruido un proceso estocástico, un sitio de medida(estación sísmica) debe tener su propio ruido ambiental que lo caracteriza.

1.1 Definición de ruido sísmico y las fuentes que generan.

■ Fuentes de ruido sísmico

- 1×10^{-6} - 1×10^{-3} Hz Atracción Newtoniana. Movimiento de masas de aire en la atmósfera local.
- 0,3-30 mHz Entre 2-7 mHz se pueden encontrar ruido conocido como hum (zumbido) que coinciden con los modos fundamentales esferoidales. La fuente es desconocida. Entre 7 y 30 mHz se pueden observar ondas Rayleigh que circulan alrededor del mundo.

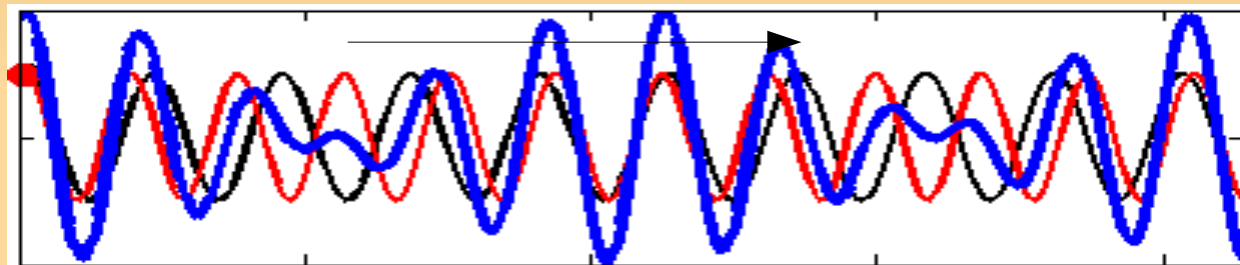
•



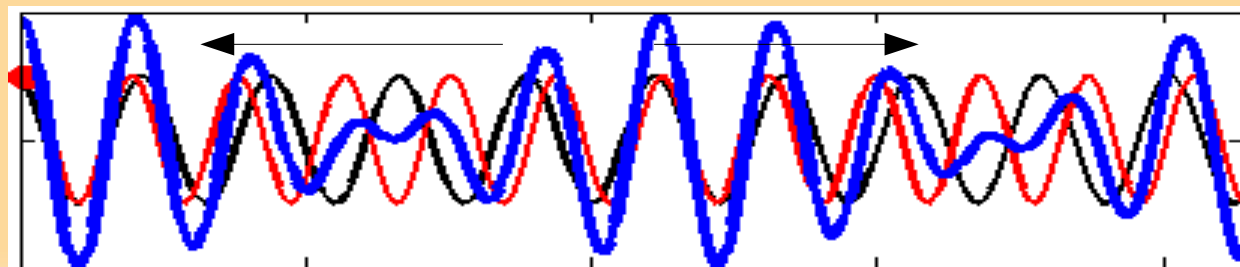
- Fuentes de ruido sísmico

- **0,033-0,25 Hz Microsismicidad Marina.**

- El primero entre 0,033-0,1 Hz es debido al efecto de ondas superficiales gravitacionales en aguas poco profundas viajando en la misma dirección.



- El segundo pico entre 0,25-0,1 Hz es debido a la interacción de ondas marinas viajando en direcciones opuestas.



Introducción

■ Fuentes de ruido sísmico

De 1 Hz en adelante y en corteza continental, el ruido sísmico es principalmente cultural (actividad humana)

- Oscilaciones de arboles
- Automóviles
- Motores
- Actividad humana alrededor dentro de un radio de ~25 km.

Fuentes: International Handbook of Earthquake Engineering Seismology. Capítulo III, Parte A (W. Lee et al, 2002)

New Manual of Seismological Observatory Practice. Capítulo 4 (P. Bormann 2002)

1.2 Objetivos del presente estudio

- Obtener el ruido sísmico ambiental desde 0.1-120 s (10 – 0,083 Hz) de las estaciones con una muestra de datos de al menos 1 año.
- Obtener un modelo estadístico de ruido de fondo de las estaciones de la red OV.
- Analizar variaciones estacionales, diarias del ruido y geográficas del ruido ambiental.
- Obtener un mapa de umbral de detección de la red de banda ancha.

1.3 La red de estaciones de banda ancha: tipos de sensores y construcción de sitio.

Estaciones Sísmicas



- La red de estaciones BB de OVSICORI consta de 14 sismógrafos.
- 11 estaciones BB fueron utilizadas en este trabajo debido a la disponibilidad, en tiempo, de los datos de formas onda de continuas. (Subrayadas con línea blanca)

La red de estaciones de banda ancha de OVSICORI cuenta con sensores de alta tecnología para registrar la sismicidad local, regional y mundial.

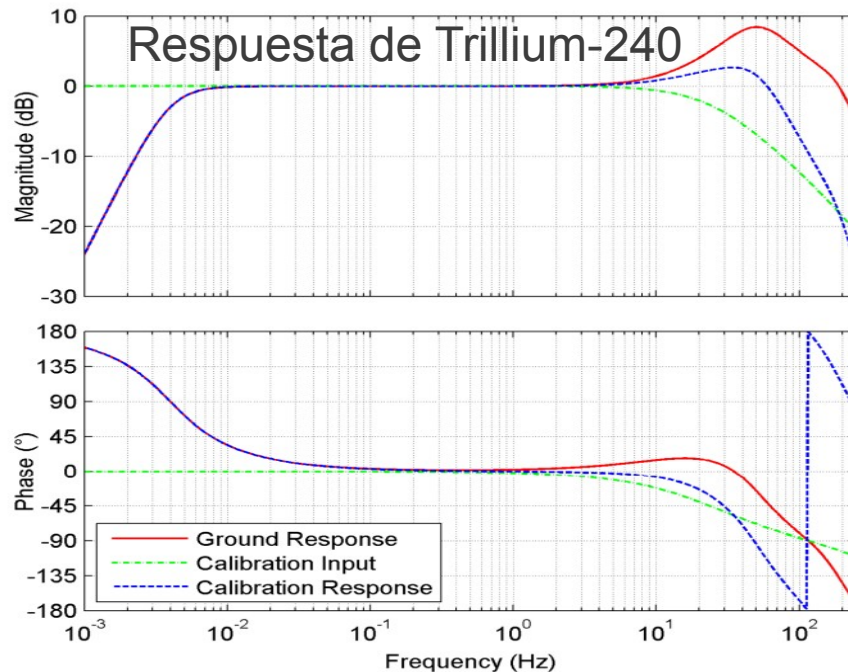
1.3 La red de estaciones de banda ancha: tipos de sensores y construcción de sitio.

Trillium-240



DUNO, RIFO, COVE, CDM y PEZE

Figure 10-1 Bode plot for Trillium 240 seismometers

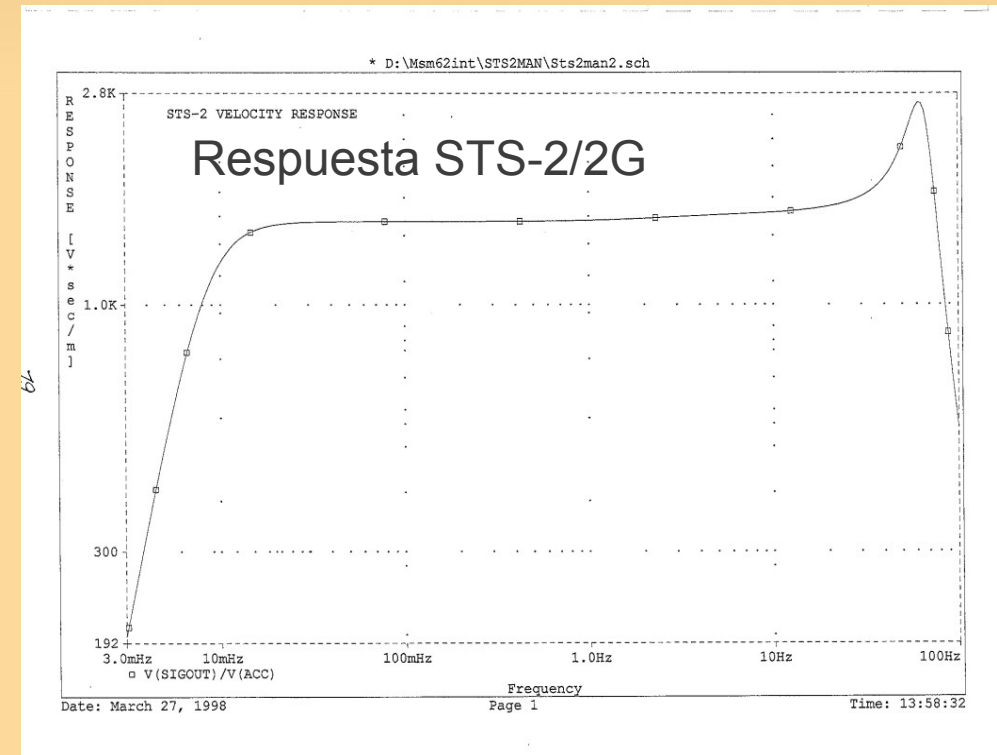


Trillium-240 son sensores de Nanometrics con respuesta plana desde 240 [s] hasta 0.1 [s].

STS-2



CDITO, BATAN, RIOS, HZTE, HDC3 y JTS



STS-2 son sensores de Strekeisen con respuesta plana desde 120 [s] hasta 0.1 [s]

1.3 La red de estaciones de banda ancha: tipos de sensores y construcción de sitio.

Tipo de construcción

- Caseta de concreto con tres puertas para aislar las variaciones de presión y protección contra vandalismo.
- Las casetas también cuentan con un pilar para medidas con GPS.



Área de Medida

Aislante metálico

Térmico, electromagnético y de variaciones de Presión.

Sismómetro

L

Pilar de concreto

Nivel de medida de
Movimiento a
Profundidad L

El “pilar de concreto” transmite el movimiento generado por el paso de las ondas sísmicas desde el “nivel de medida de movimiento”.

Metodología de Análisis

■ Power Spectral Density PSD

- El ruido sísmico es un proceso estocástico y su energía debe ser cuantificada por la densidad espectral de potencias (PSD).
- El cálculo del PSD es realizado con el método de McNamara y Buland, 2004

Para frecuencias discretas:

$$Y(f, T_r) = \int_0^{T_r} y(t) e^{-i2\pi f t} dt,$$

Transformada de Fourier del rango finito de una Serie y(t). $T_r=2^{15}=819,2$ s

$$Y_k = \frac{Y(f_k, T_r)}{\Delta t}$$

**$f_k=k/N\Delta t$, $k=1,2,3,\dots,N-1$
 $\Delta t=0,01$ y N es el tamaño de la serie temporal, $N=T_r/\Delta t$**

$$P_k = \frac{2\Delta t}{N} |Y_k|^2.$$

El cuadrado del espectro de amplitudes con una constante de normalización es el PSD.

Calculos en dB para comparar con el modelo de Peterson, 1993

$$1\text{dB} = 10 \cdot \log(P_k / 1(\text{m/s}^2)^2/\text{Hz})$$

■ Probabilistic Density Function (PDF)

- Se hace uso de cientos de PSDs y se divide la banda frecuencial en 1/8 de un Octavo, lo que reduce el número de frecuencias en un factor de 169 (McNamara y Bulland, 2004)
- Se usan “celdas” de un ancho de 1/8 por Octavo (en frecuencia) y de largo un dB (en potencia). Se cuantifican cuantas veces se repite una determinada potencia y se divide ésta entre el total de veces de las potencias en la banda de interes.

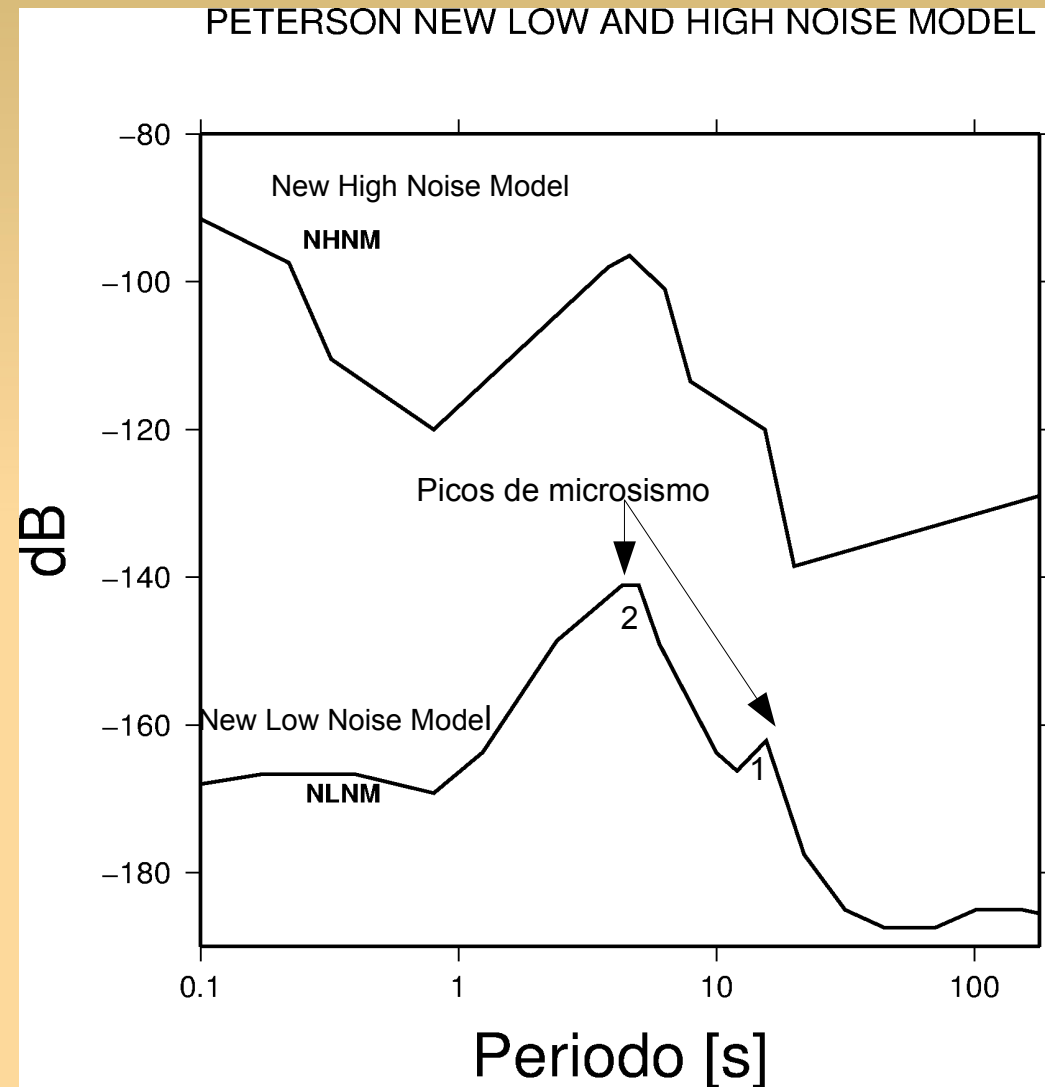
$$P(T_c) = N_{PT_c} / N_{T_c}$$

- Donde $P(T_c)$ es la probabilidad en un determinado periodo (o frecuencia), N_{PT_c} es el número de veces que se repite un determinado valor de potencia y N_{T_c} es total de energía en un periodo T_c . Este último valor se lo cuantifica:

$$T_c = T_c \times 2^{0.125}$$

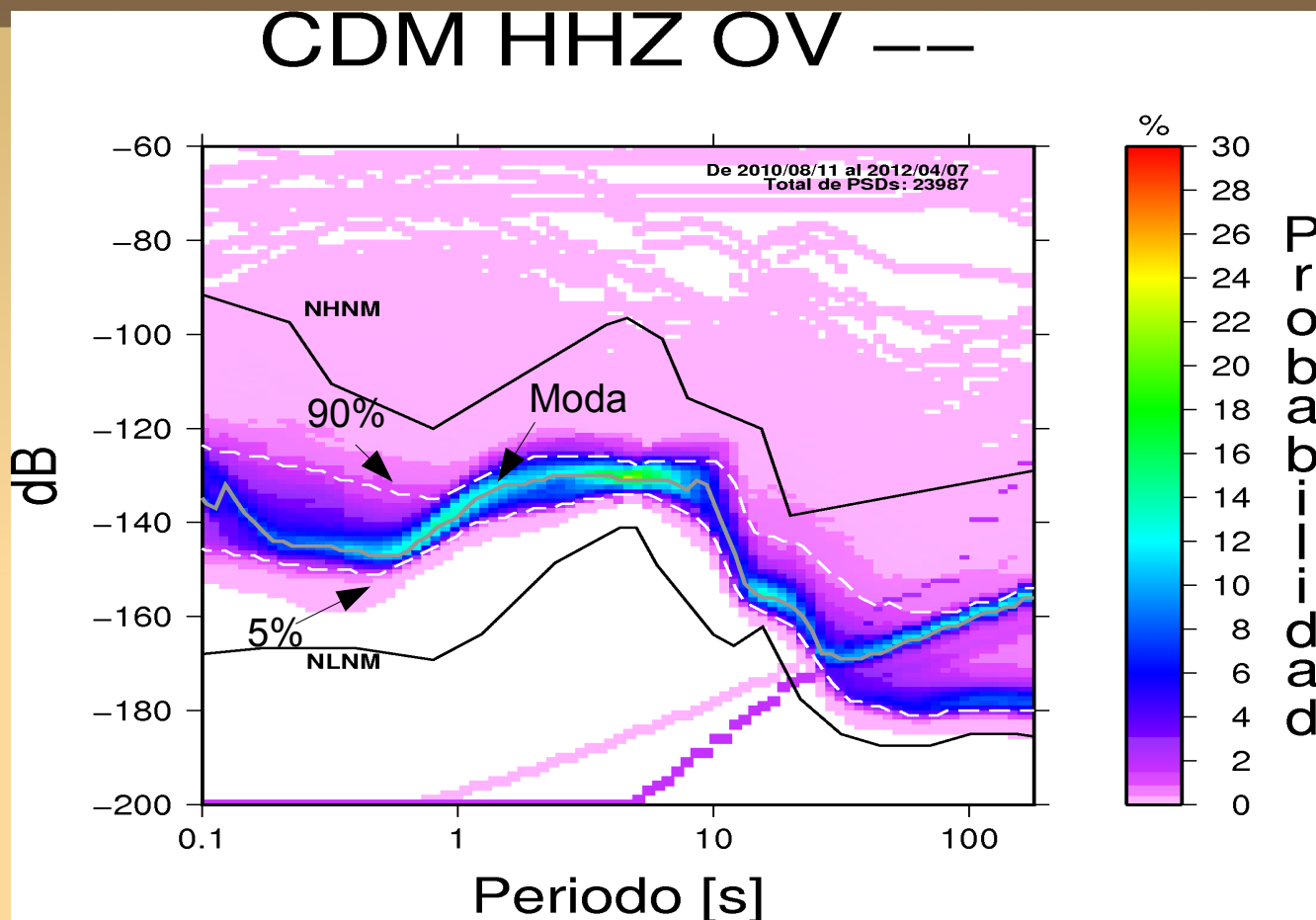
Modelos de Ruido fondo de Peterson, 1993

- Los modelos de Mínimo y Máximo Ruido de Fondo (NLNM y NHNM por sus siglas en ingles) fueron calculados por Peterson en 1993. Peterson usó los PSD, de canales verticales, de estaciones de todo el mundo, excluyendo de este análisis los registros de terremotos.
- Los modelos NLNM y NHNM son la base de comparación con el modelo estadístico de McNamara y Bulland, 2004.
- La cuantificación de valor energético del modelo de Peterson fue realizada en anchos de banda de 1/6 de década.
- La unidad que se hace uso son dB (usando como comparación 1 m/s²)



El modelo de Peterson es utilizado principalmente como modelo de referencia para el estudio de la calidad de un sitio.

3) Resultados del Análisis con PSD y PDF.



Gráfica de los resultados del análisis de ruido sísmico ambiental de la componente vertical de la estación de Cerro de la Muerte (CDM). Se observa una sobreposición de 23987 PSD con las cuales se hace el análisis probabilístico en celdas de un largo de $1/8$ por octavo y alto de 1 dB. El valor que representa a la energía con mayor probabilidad es la moda (línea gris). Los valores estadísticos de 5% y 90% también están presentes en la gráfica (líneas blancas segmentadas). Entre estos últimos valores un 85% de la energía está concentrada. Si el ruido está concentrado en una pequeña banda, entonces la diferencia en dB será considerablemente baja. La comparación de análisis probabilístico se la realiza con los modelos NHNM y NLNM de Peterson, 1993.

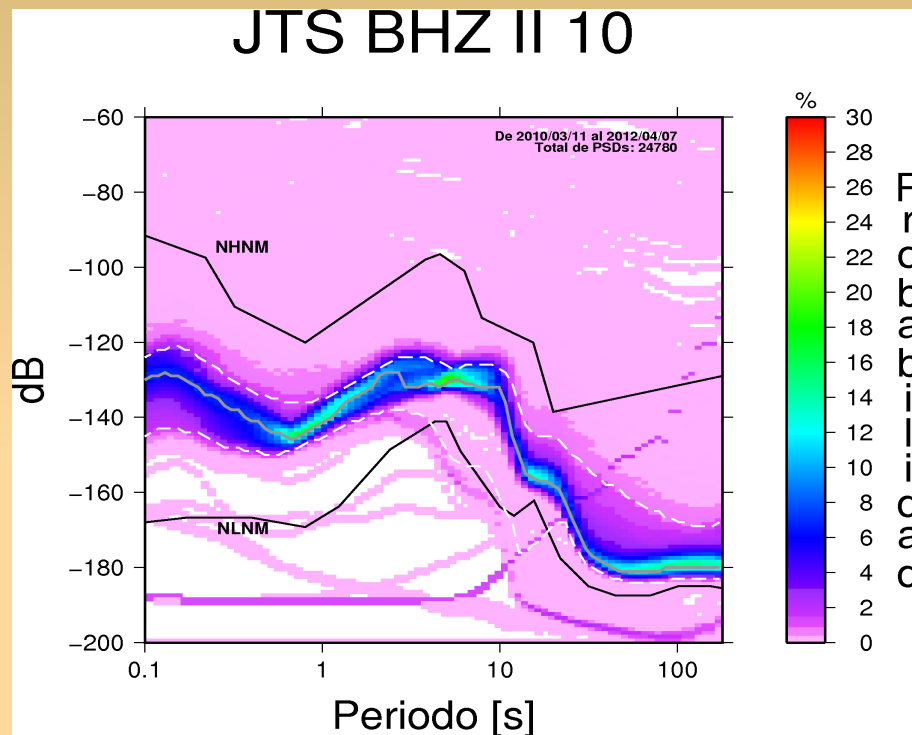
Los sismos, picos de calibración y cualquier otro suceso (normales en una estación que trabaja continuamente) no son excluidos y caen dentro de los procesos con baja probabilidad. En contraparte, el ruido ambiental del sitio se acentúa y se hace más probable.

CDM es una estación con bajo ruido de fondo en la banda de 1-10 Hz. Registra también los picos de microsismos como los del NLNM, sin embargo en una banda mucho mayor por la cercanía al Océano Pacífico y Mar Caribe.

Esta estación tiene una división del valor más probable en la banda de ~20 a 120 [s]. Aún se investiga porqué existe esta división.

Resultados del Análisis PSD y PDF

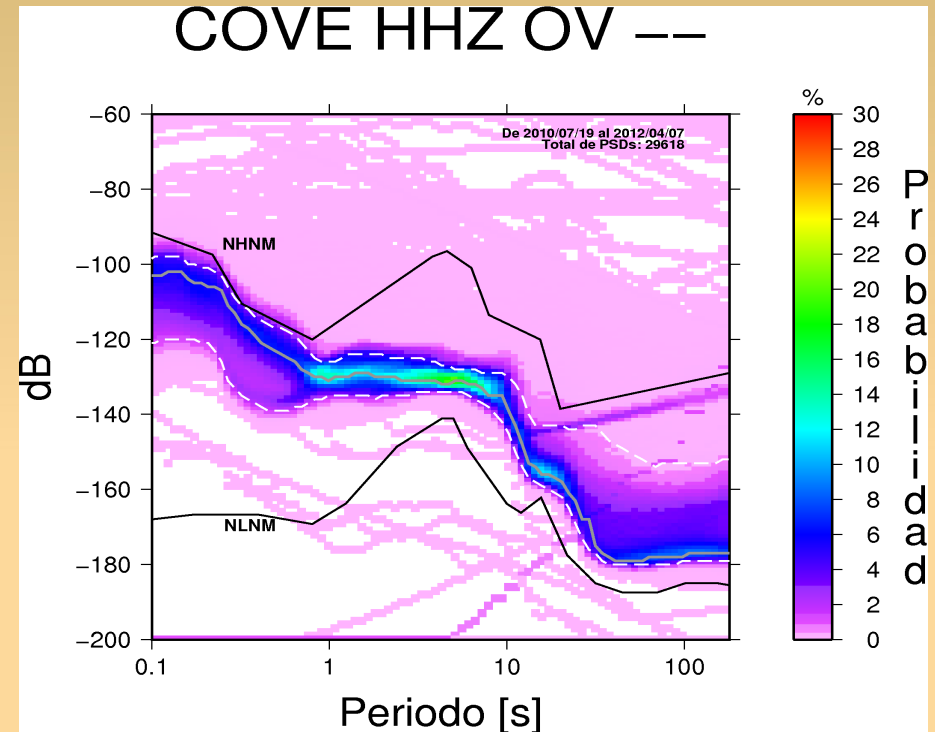
Componentes Verticales



El ruido ambiental de fondo de la estación de Las Juntas de Abangares, Guanacaste (JTS). El modelo estadístico presenta zonas importantes con probabilidad altas; los microsismos, periodo largos (>20 [s]) y una parte entre ~ 3 a 1 [s]. Se puede observar dispersión del nivel de ruido en la banda ~ 2 a 10 Hz. Los valores de concentración de energía al 5% y 90% tienen una diferencia de aproximadamente 20 dB.

El ruido sísmico ambiental de JTS es analizada por IRIS y puede ser visto en:

JTS BHZ 10 II año 2011

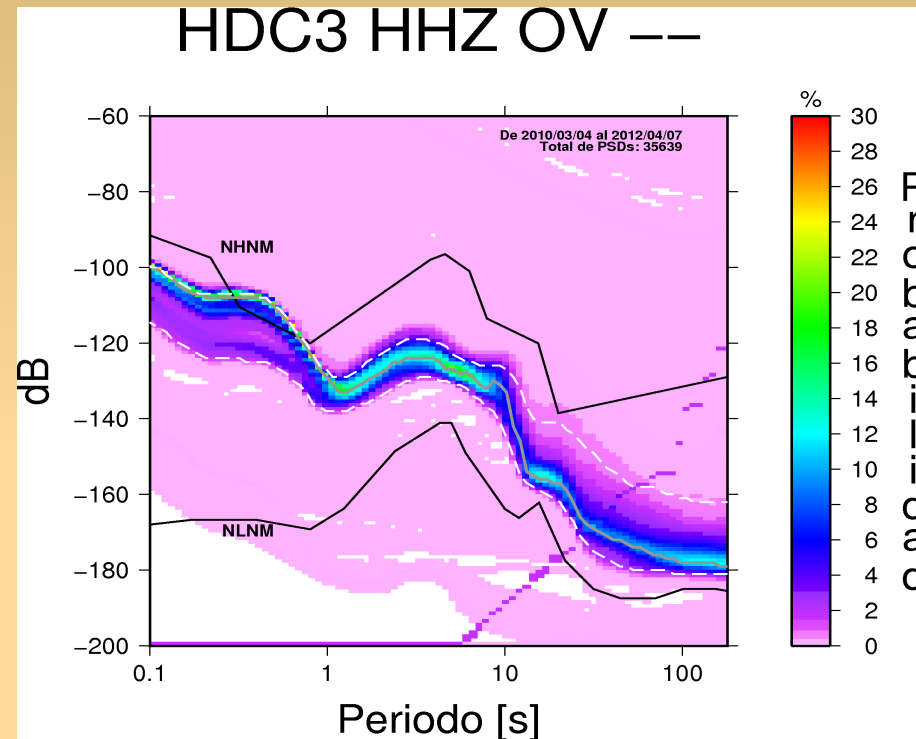


Estación de Cope Vega, Alajuela (COVE). El modelo estadístico presenta una banda, con probabilidad importante, casi plana, que comienza antes del segundo pico de los microsismos 8~9 s hasta 0.5 s. El primer pico de los microsismos se destaca por alcanza un valor importante de probabilidad de ocurrencia.

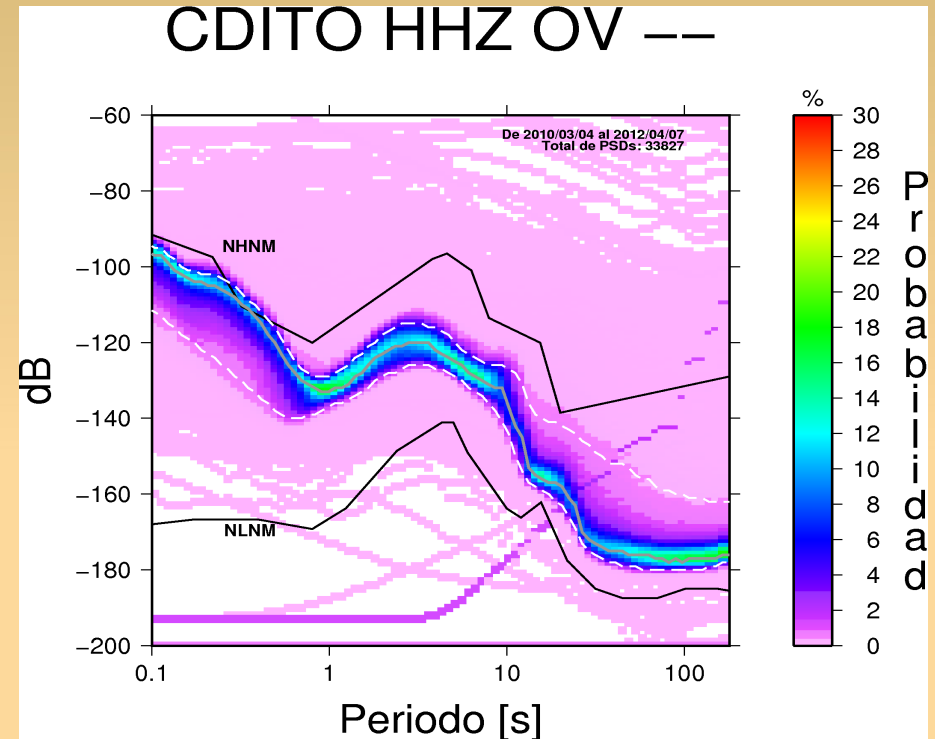
En periodos largos se observa una dispersión de la energía de de aproximadamente 30 dB entre los niveles de 5% y el de 90%. Para frecuencias mayores a 2 Hz se puede observar también una dispersión de la energía en una banda de ~ 20 dB.

Resultados del Análisis PSD y PDF

Componentes Verticales



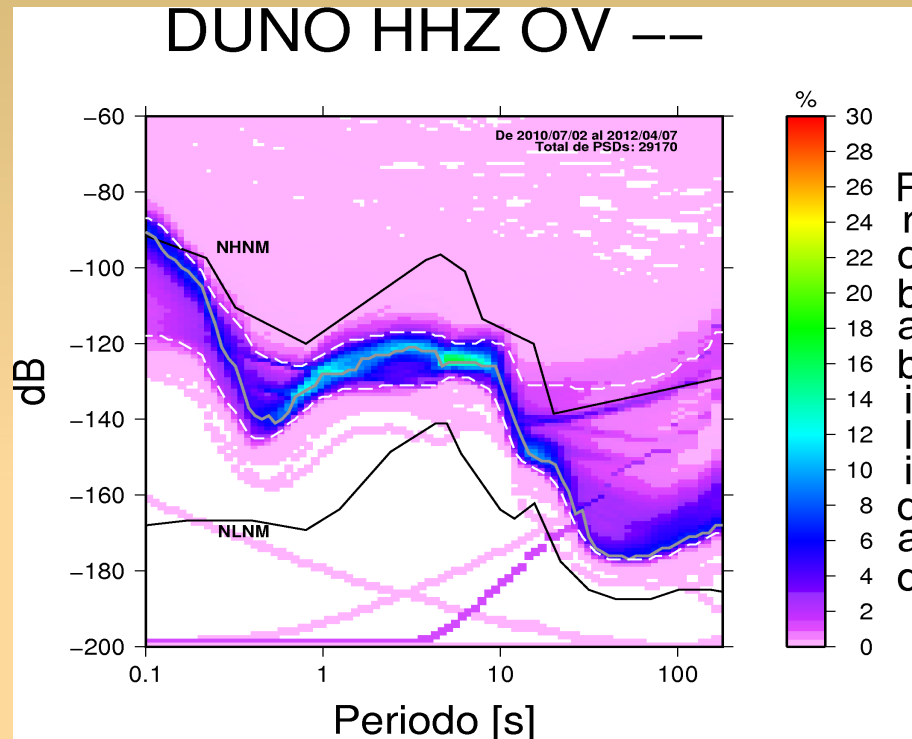
Estación Heredia, Heredia (HDC3). El modelo estadístico de ruido ambiental presenta un marcado nivel de ruido en toda la banda analizada. El ruido es considerablemente energético desde los ~9 s hasta 0.1 Hz. Un cambio del nivel energético a ~1 s marca la alta probabilidad del ruido cultural generado por la constante actividad humana de la ciudad de Heredia, que llega a sobrepasar al modelo N1NM. La máxima diferencia es de 20 dB entre el 5% y el 90%. En periodos largos, el nivel de ruido se destaca por su alta probabilidad y se observa también una diferencia de 20 dB entre el 5% y el 90%.



Estación de Coloradito, Puntarenas (CDITO). El modelo estadístico presenta una marcado nivel de ruido, por la probabilidad de ocurrencia de éste en todo la banda analizada. Al igual que la estación de HDC3, a partir de ~1 s hasta 0.1 s (de 1 a 10 Hz) se observa un incremento del nivel de ruido cultural. La diferencia entre los niveles de 5% y el 90% en periodos largos es mayor a 20 dB. En periodos cortos (de 1 a 10 Hz) la diferencia llega a los ~15 dB.

Resultados del Análisis PSD y PDF

Componentes Verticales

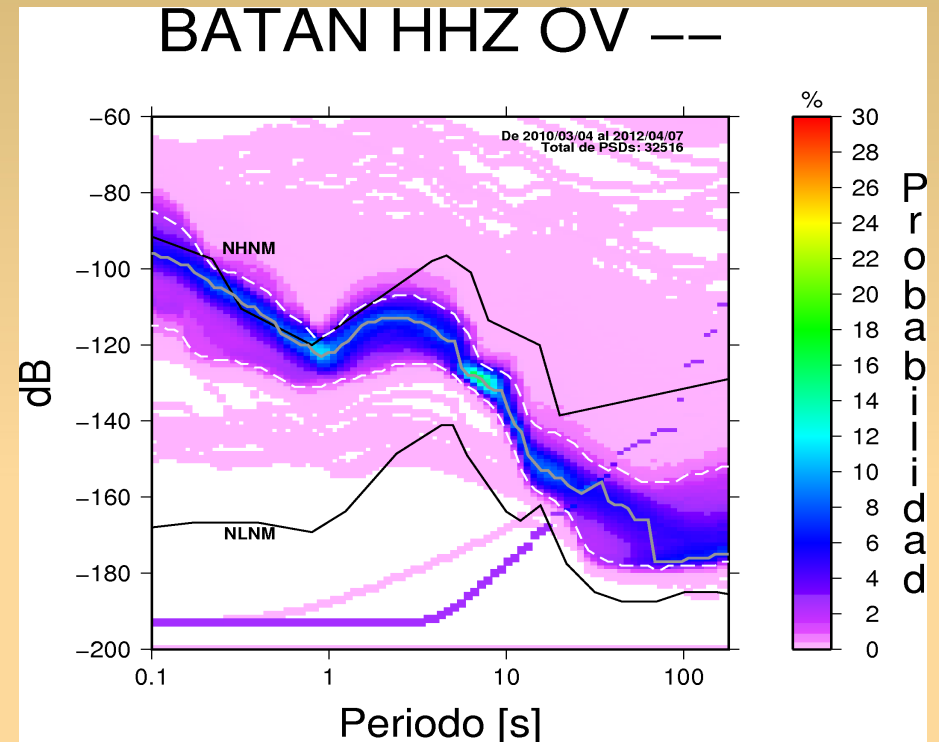


Estación de Dulce Nombre, Guanacaste (DUNO). El modelo estadístico presenta bandas con niveles energéticos importantes desde ~9 a 0.5 [s]. El primer pico de los microsismos se destaca aun cuando no es tan energético como en otras estaciones.

La diferencia energética entre los niveles de 5% y el 90% en periodos largos es considerablemente elevado ~50 dB. En periodos cortos se observa una diferencia de ~30 dB.

La moda a partir de 0.5 s (2 Hz) hasta 0.1 [s] tiene una pendiente abrupta y el ruido está concentrado y disperso.

A pesar de la gran diferencia entre los niveles 5% y 90% en periodos largos, se puede observar que una gran parte de la energía está concentrada en los primeros 10 dB desde el nivel al 5%.

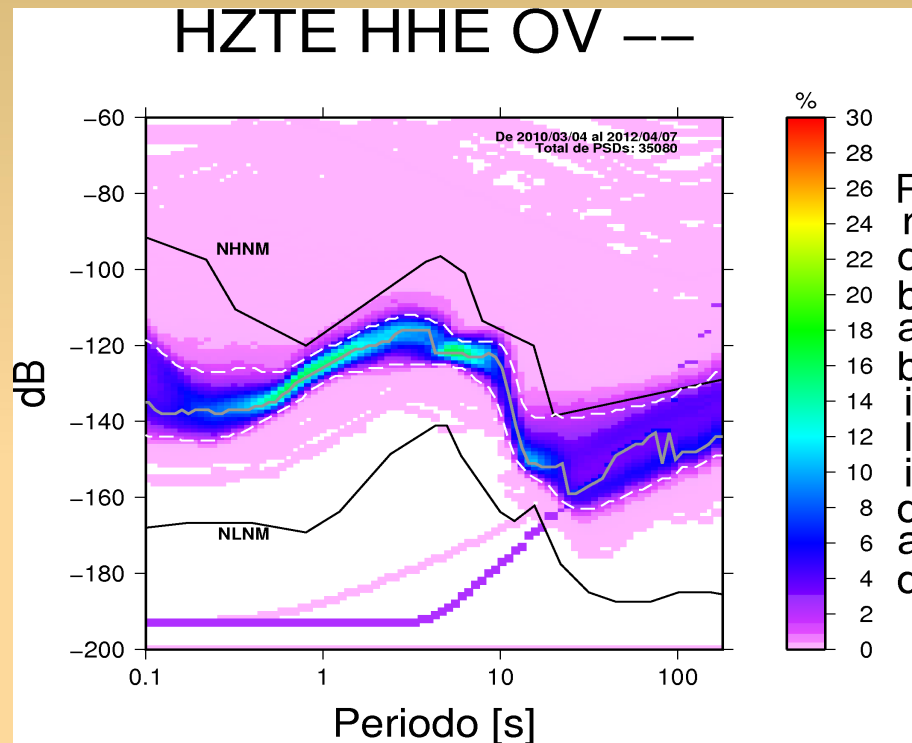


Estación Batan, Limón (BATAN). El modelo estadístico de ruido de ambiental de esta estación presenta solamente dos bandas angostas con probabilidades importantes, la primera es el segundo pico de los microsismos y el segundo a ~1 s. La diferencia de los niveles de 5% y 90% en periodos cortos es de ~30 dB. En periodos largos la diferencia es de ~25 dB. A partir del segundo pico de microsismos se observa que el ruido incrementa considerablemente alcanzando un máximo a ~3 [s] y descendiendo hasta llegar a 1 [s].

La última característica observada no se presenta en ninguna de las estaciones analizadas.

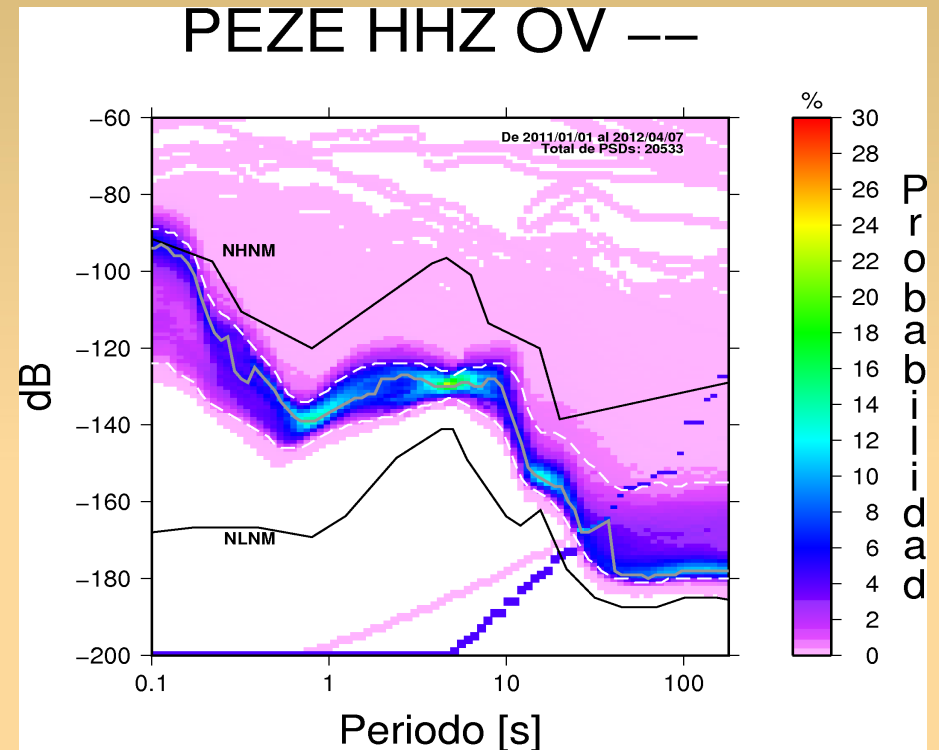
Resultados del Análisis PSD y PDF

Componentes Verticales



Estación Horizontes, Guanacaste (HZTE). El modelo estadístico de ruido ambiental presenta niveles energéticos con probabilidades altas desde ~ 9 [s] hasta ~ 0.2 [s]. El segundo pico de los microsismo se destaca por su probabilidad de ocurrencia.

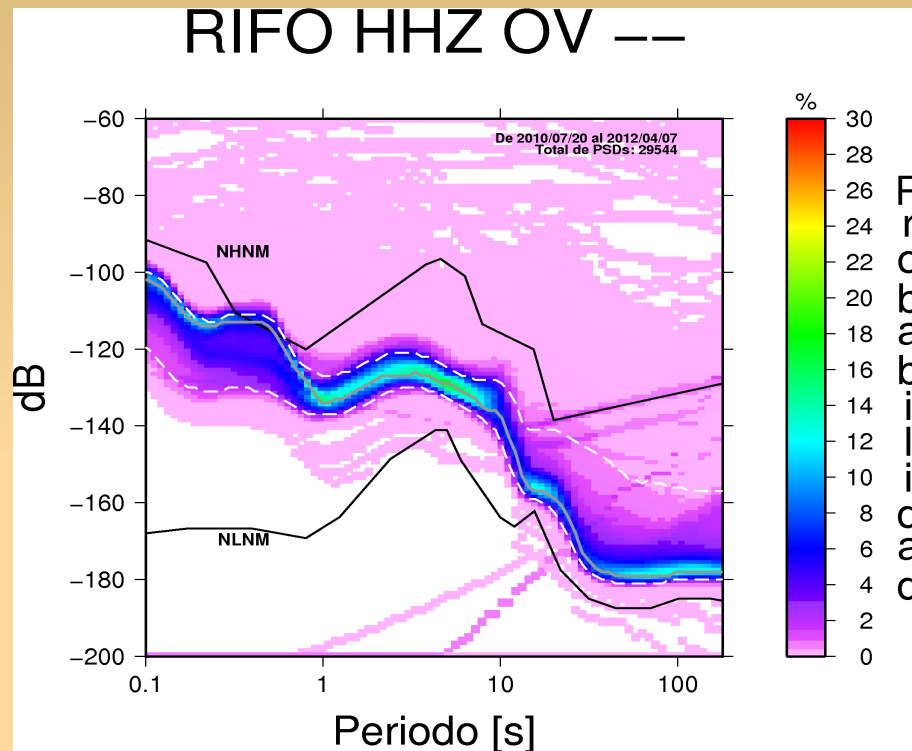
La diferencia entre los niveles de 5% y 90% alcanza un valor máximo de 20 dB para periodos largos mayores a 10 [s] y se observa una distribución de la energía de manera uniforme en la misma. Para periodos cortos la diferencia máxima entre estos niveles es de ~ 23 dB.



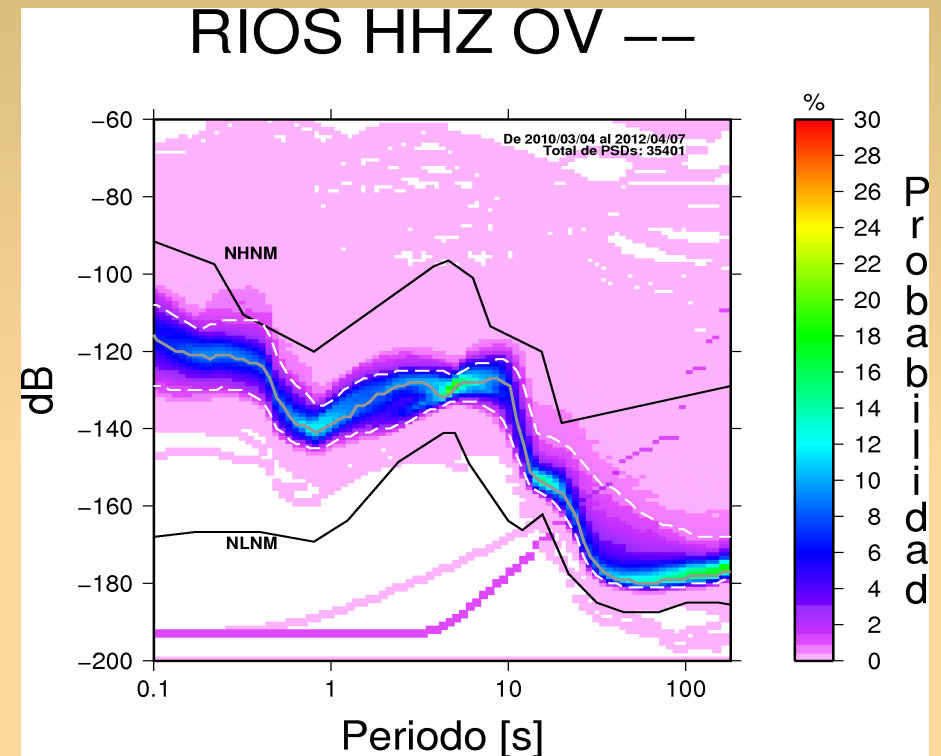
Estación de Perez-Zeledón, San José (PEZE). El modelo estadístico de ruido de ambiental de esta estación presenta bandas aisladas con altas probabilidades de ocurrir. Los microsismos son detectados y en ~ 0.5 [s] comienza a incrementar el ruido generado por la actividad humana, creando una dispersión de los niveles de 5% y 90% de ~ 30 dB. En periodos largos > 16 [s] la diferencia entre los niveles anteriormente mencionados es ~ 23 dB.

Resultados del Análisis PSD y PDF

Componentes Verticales



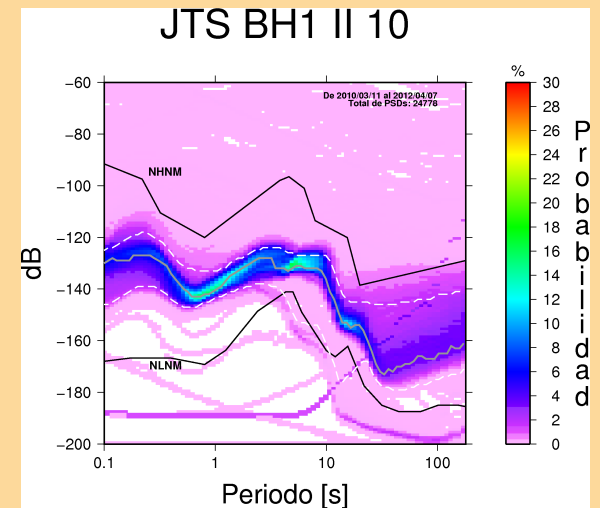
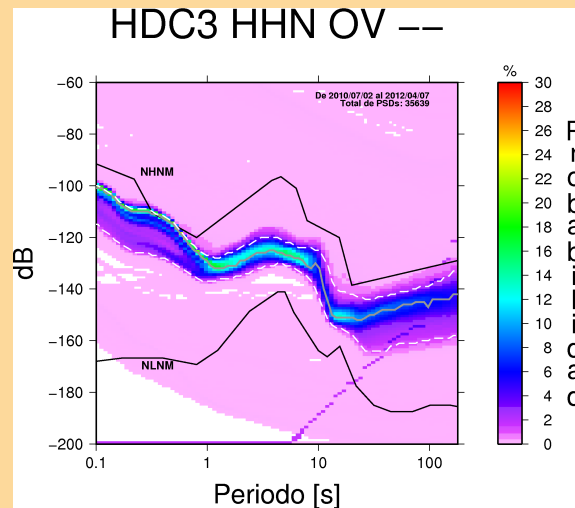
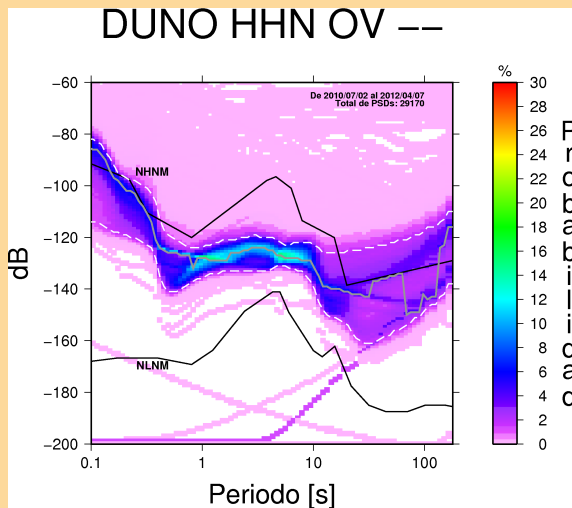
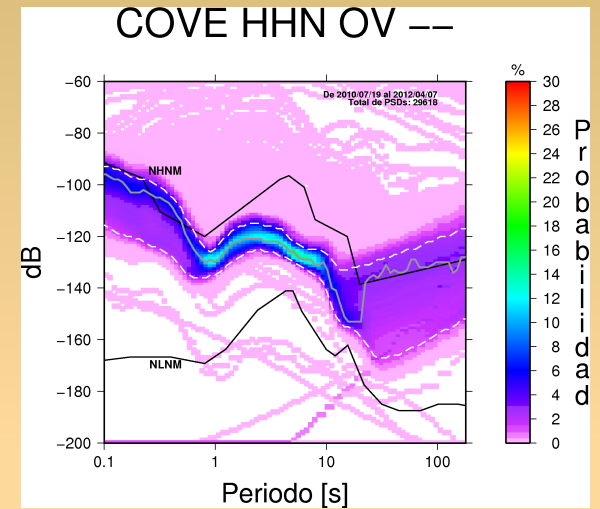
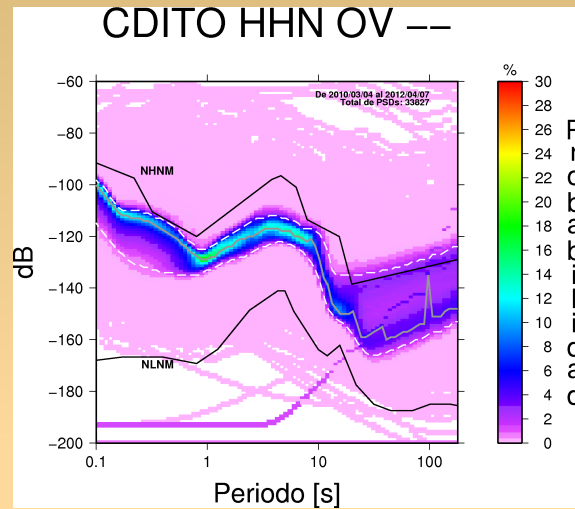
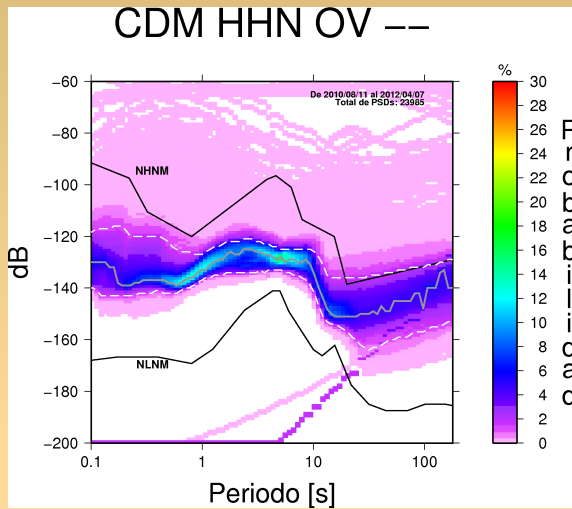
Estación Rio Frio, Heredia (RIFO). El modelo estadístico de ruido ambiental presenta niveles energéticos con probabilidades altas desde ~ 9 [s] hasta ~ 0.5 [s]. El segundo pico de los microsismo se destaca por su probabilidad de ocurrencia. Un singular aumento del valor más probable ocurre a ~ 0.5 [s] alcanzando al nivel NHNM en ~ 0.6 [s]. A pesar de tener en periodos largos, un marcado nivel de ruido la diferencia entre los niveles a 5% y 90% es de ~ 22 dB. En periodos cortos < 1 [s] el máximo alcanzado, en la parte singular donde incremente la energía, es de ~ 20 dB y la diferencia con periodos largos es que no existe un marcado nivel energético del ruido, con probabilidad alta de ocurrir.



Estación de Rios, Puntarenas (RIOS). El modelo estadístico de ruido ambiental de esta estación presenta bandas aisladas con probabilidades elevadas. Los microsismos son detectados y en ~ 0.5 [s] comienza a incrementar el ruido generado por la actividad humana, aunque no tan energético en comparación con las anteriores estaciones. Una diferencia máxima, de los niveles de 5% y 90%, de ~ 20 dB puede observada en periodos largos. En periodos cortos < 1 [s] la diferencia entre los niveles anteriormente mencionados es de ~ 20 dB.

Resultados del Análisis PSD y PDF

Componentes Horizontales

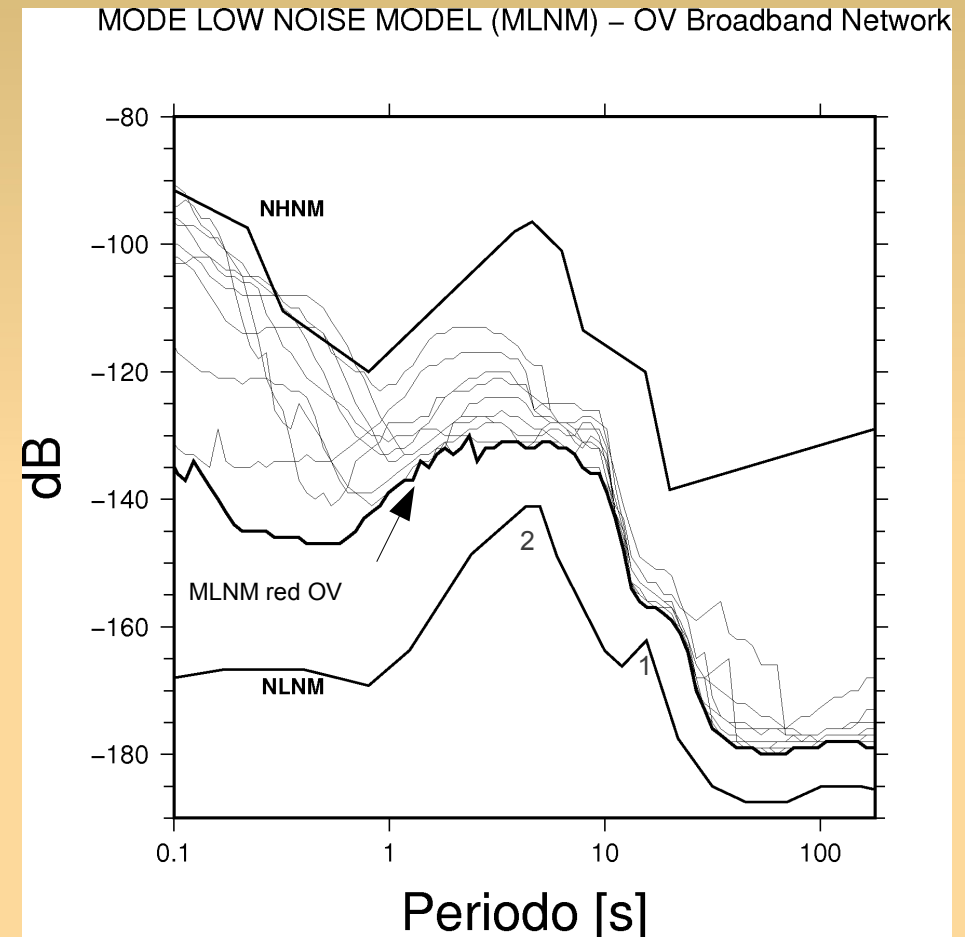


En comparación a los niveles de ruido en componente vertical, las componentes horizontales presentan niveles energéticos de ruido, marcados por la moda, mayores o iguales en las bandas de periodo corto. En bandas de periodos largos >10 [s] se observa una influencia drástica que migra, en algunos casos más de ~20 dB al nivel de 5% así como también al de nivel al 90%.

Perterson propuso su modelo solamente con componentes verticales y así también se trabaja en esta investigación, sin embargo cabe destacar este aumento importante de energía en las componente horizontales.

Modelo estadístico de mínimo ruido ambiental de la red de banda ancha de Costa Rica. (MNLM CR)

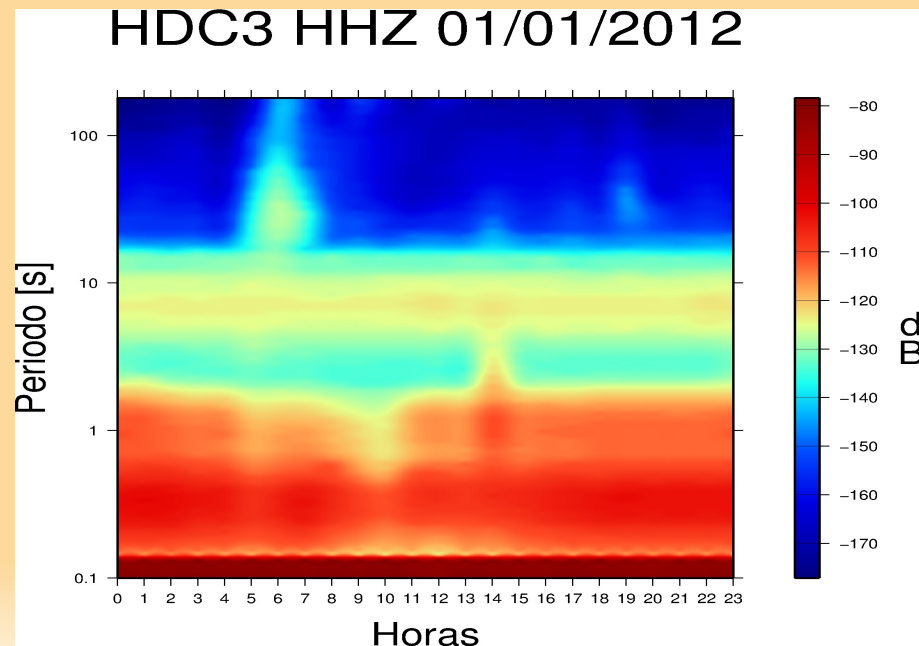
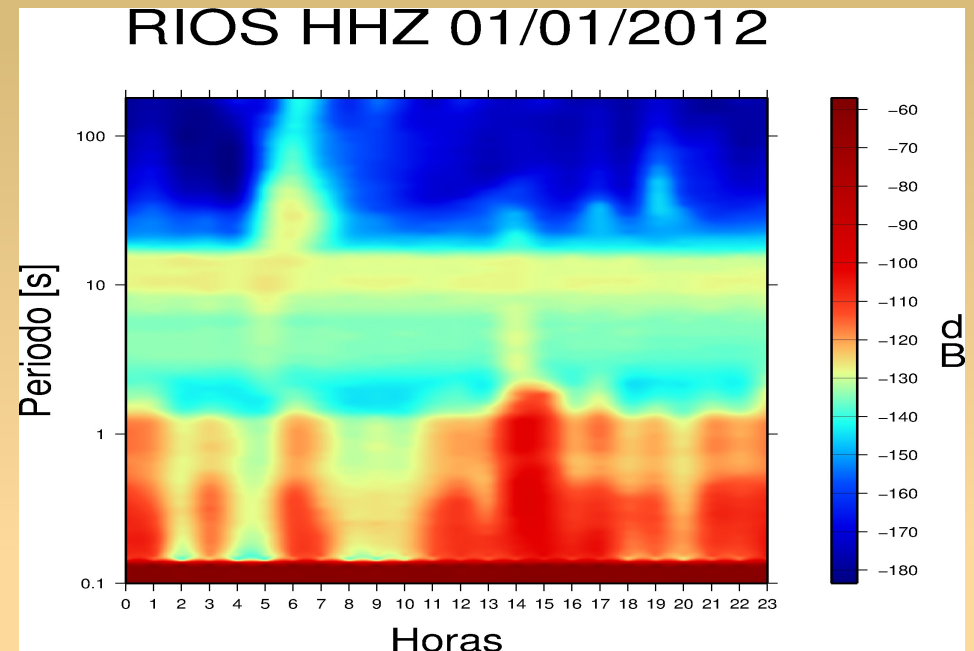
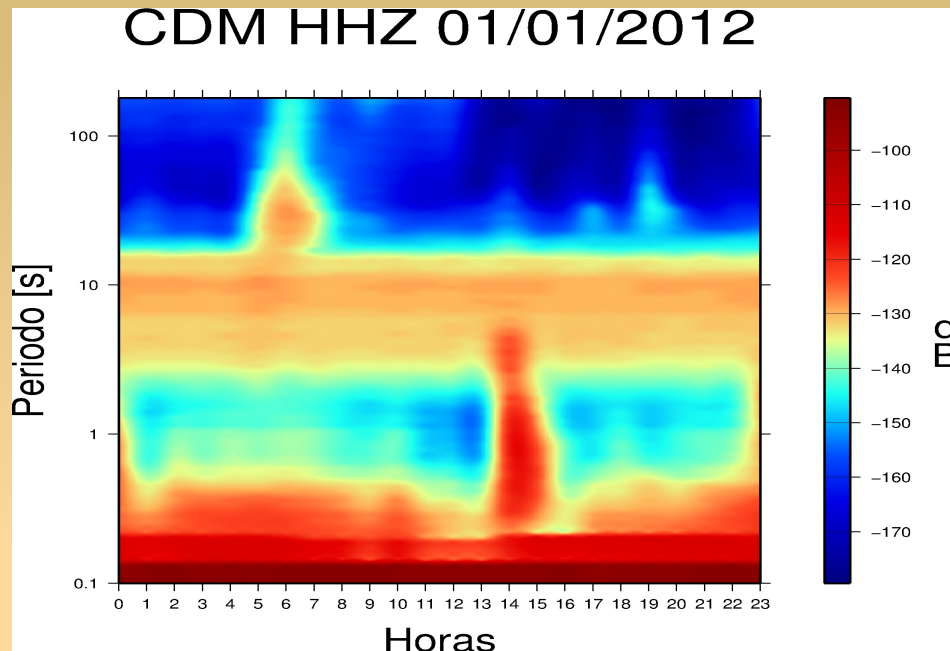
- La moda es el valor que más se repite, en este caso el valor de energía, y por tanto hace que sea considerado el valor más probable.
- Debido a los miles de PSDs que se tienen por cada canal y viendo que la moda marca el ruido ambiental característico del sitio, se hace uso de éstas para obtener un modelo de mínimo ruido de fondo de la red de estaciones de banda ancha de OV.
- El modelo considerado Mode Low Noise Model (MNLM) es obtenido por el mínimo valor de la superposición de la moda de los canales verticales de todas las estaciones. (McNamara y Bulland, 2004)



El mínimo ruido alcanzado por red la red de banda ancha de OV tiene una diferencia mínima de ~20 dB con respecto a NLNM de Peterson, en la banda de Periodo corto. La diferencia de los picos de microsismos son: en el primero es de 5 dB y en el segundo pico de 10 dB. En periodos largos, mayores a 16 [s] la diferencia es bastante uniforme con un valor medio de 6 dB.

El decrecimiento de la energía de ruido de fondo a partir del segundo pico de microsismos hasta ~2 [s] no es observado y a partir de este último valor, la actividad humana marca un punto importante de inflexión en las curvas de ruido ambiental de la red de banda ancha OV. La estación CDM es la que predomina en esta banda de periodos cortos, por su bajo nivel de ruido ambiental.

Variaciones: Diurnas-Nocturnas, estacionales y geográficas del nivel de ruido.



Tres estaciones representativas para presentar las variaciones diurnas del ruido ambiental. Importante mencionar que a horas 6:00 y 14:30 existen dos eventos sísmicos registrados y que sobresalen en las tres gráficas. La primera estación, CDM, muestra, en todas las bandas, ruido constante durante todo el día con variaciones leves que no están asociadas con el transcurrir de las horas.

La estación RIOS si presenta un incremento importante de la energía de Ruido de fondo a partir de ~0.5 [s] para abajo (mayor a 2 Hz) a horas 11:00 GMT (05:00 am hora local). La actividad humana es quien se encarga de este aumento energético en el ruido de fondo.

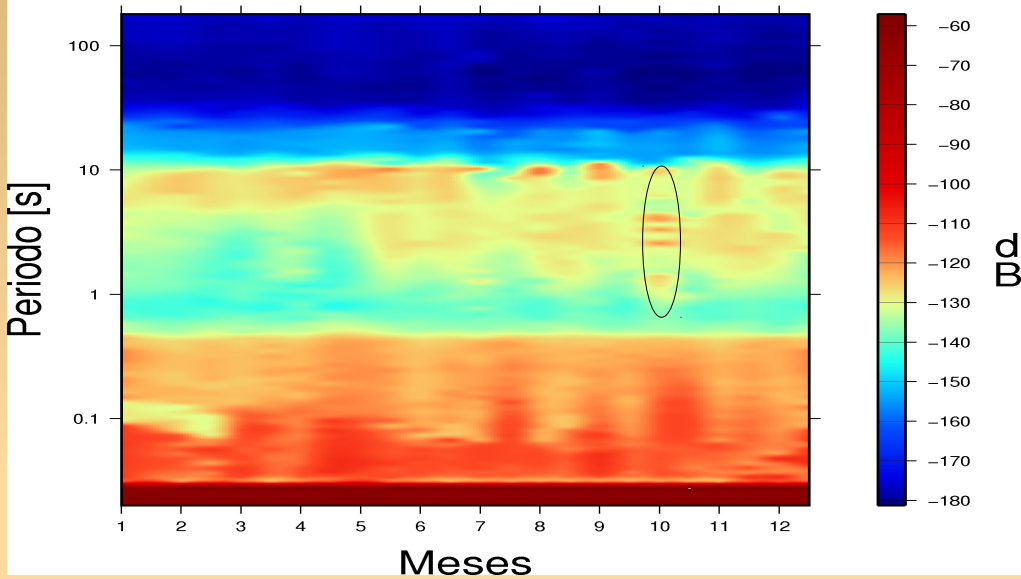
En la estación de Heredia (HDC3) se observa ruido constante a partir de 0.5 [s] para abajo, presentado de esta forma que la influencia de la actividad Humana en esta ciudad.

En las tres gráficas no se observa ninguna variación importante en periodos largos, lo que significaría que éstas solamente son influenciadas por eventos de escala mayor.

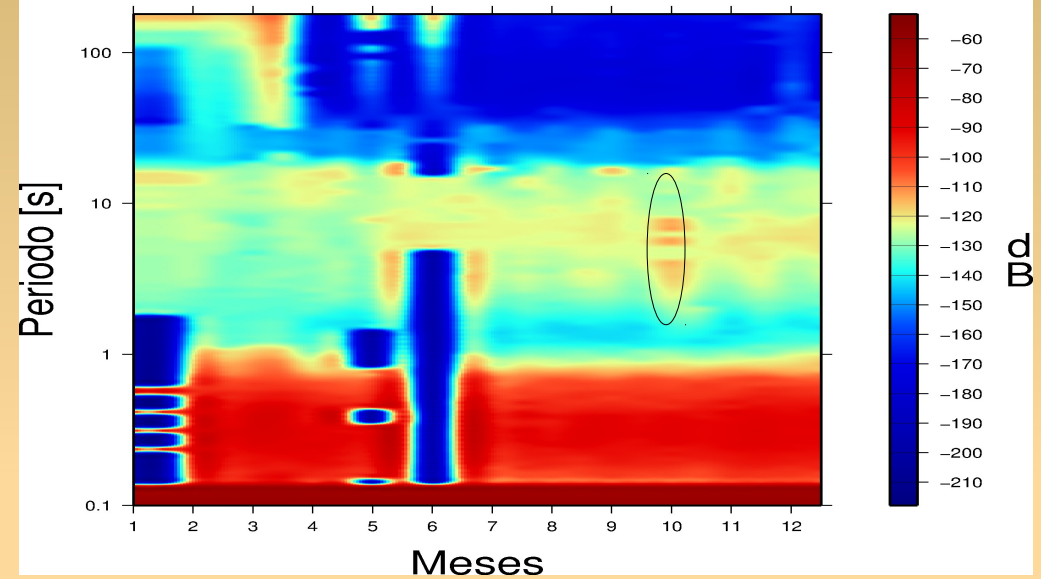
5 Variaciones: Diurnas-Nocturnas, estacionales y geográficas del nivel de ruido.

5.1 Aumento energético debido a un fenómeno meteorológico en el año Octubre de 2011.

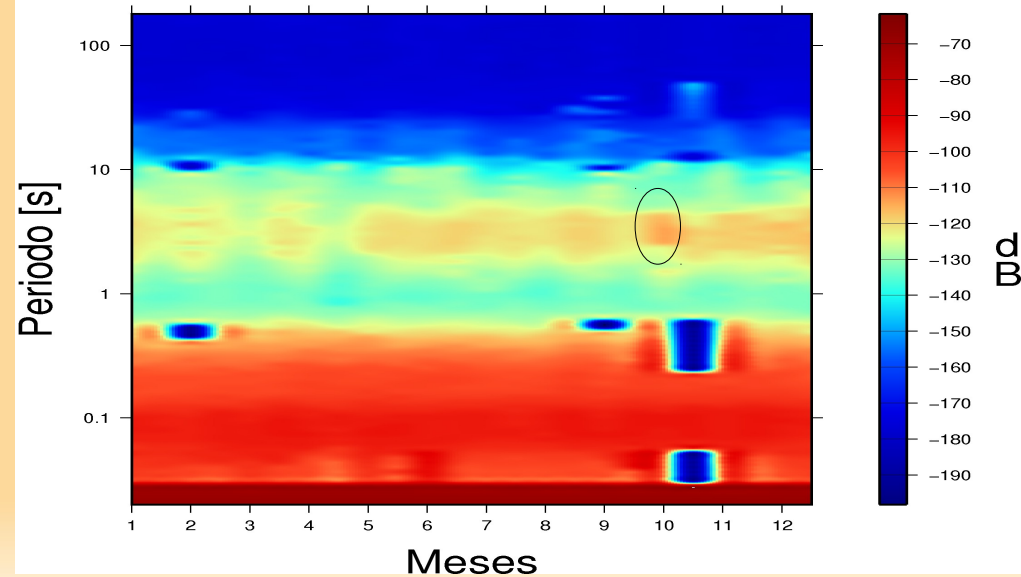
RIOS HHZ 01/2011–12/2011



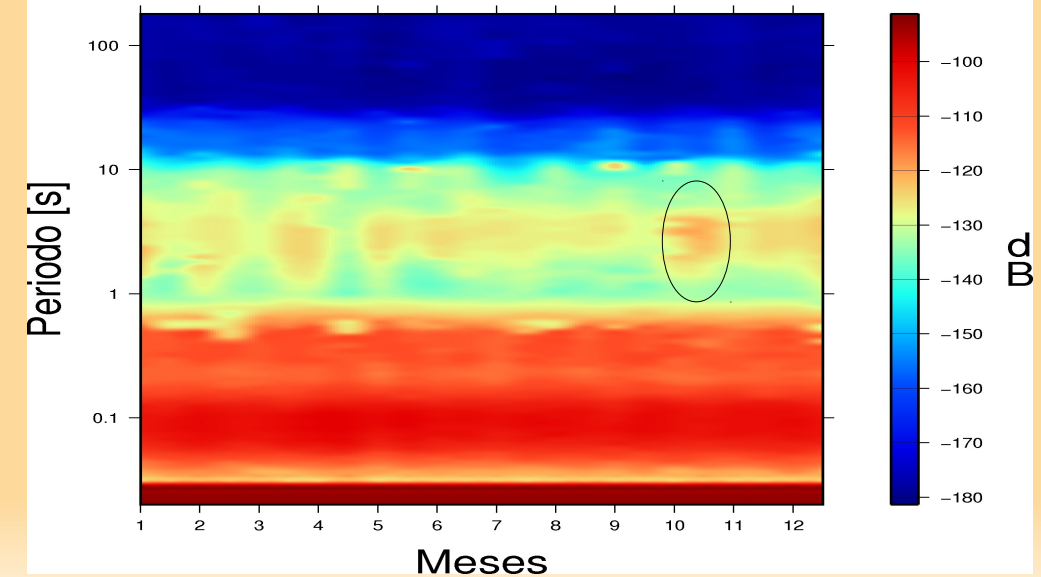
DUNO HHZ 01/2010–12/2011



CDITO HHZ 01/2010–12/2011



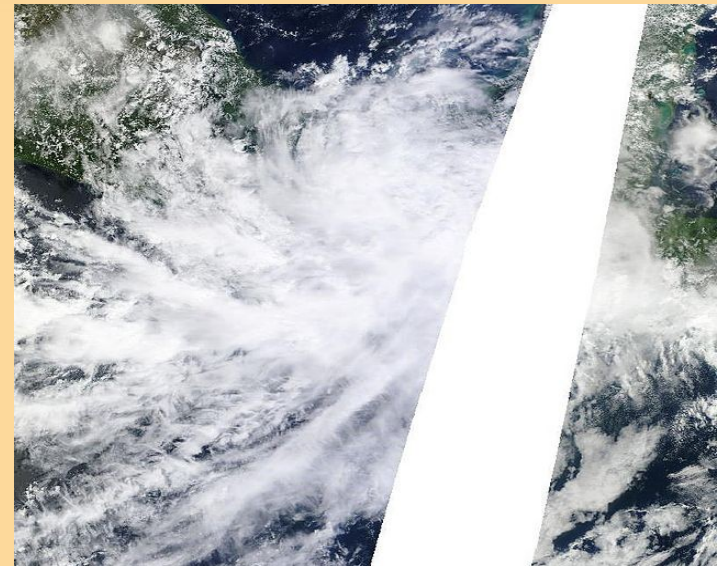
RIFO HHZ 01/2011–12/2011



5.1 Aumento energético debido a un fenómeno meteorológico en el año Octubre de 2011.

- En los registros anteriores se observa un aumento importante de la energía del nivel de ruido ambiental dentro de la banda de los microsismos en el mes de Octubre de 2011. El aumento promedio alcanza un valor de ~ 8 dB en las estaciones CDITO, RIFO, RIOS y DUNO.
- La depresión tropical Doce-E que comenzó el día 7 de octubre del año 2011 pudo haber generado el aumento energético en la banda de microsismo. Esta depresión se originó en el Océano Pacífico al oeste de la Península de Nicoya. Fue acompañada por intensas lluvias en Centro América.

Importante destacar que los rectángulos de color azul oscuro, en los espectrogramas de DUNO y CDITO, son por falta de datos en esas fechas.



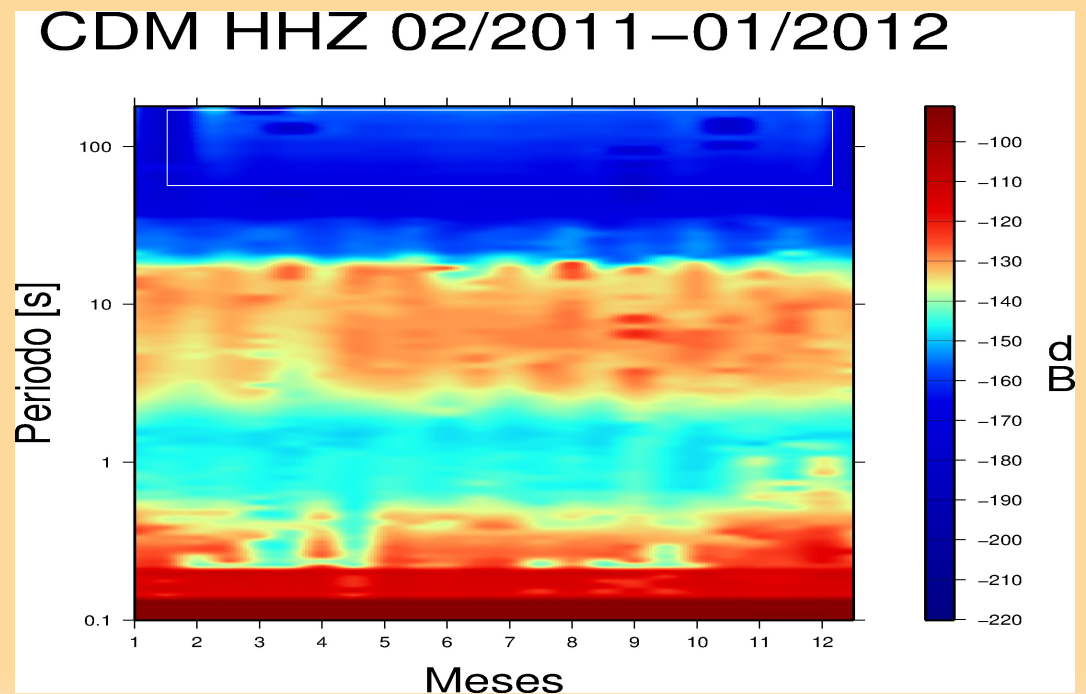
•Fuente:

Tropical Depression One-E Advisor, National Oceanic and Atmospheric Administration.

- Los espectrogramas anteriores también muestran una característica importante. Un cambio del nivel de energía en la misma banda de los microsismo toma lugar en el mes de mayo de 2011. A pesar que existen ciertos cambios energético meses antes, este se acentúa en el mes mencionado y se hace constante. En la estación RIOS el cambio energético se extiende de manera notoria en periodo, comenzando en 9~10 [s] llegando a alcanzar una banda de 10 a 5[s]. Podría estar asociado al cambio del periodo seco al lluvioso.

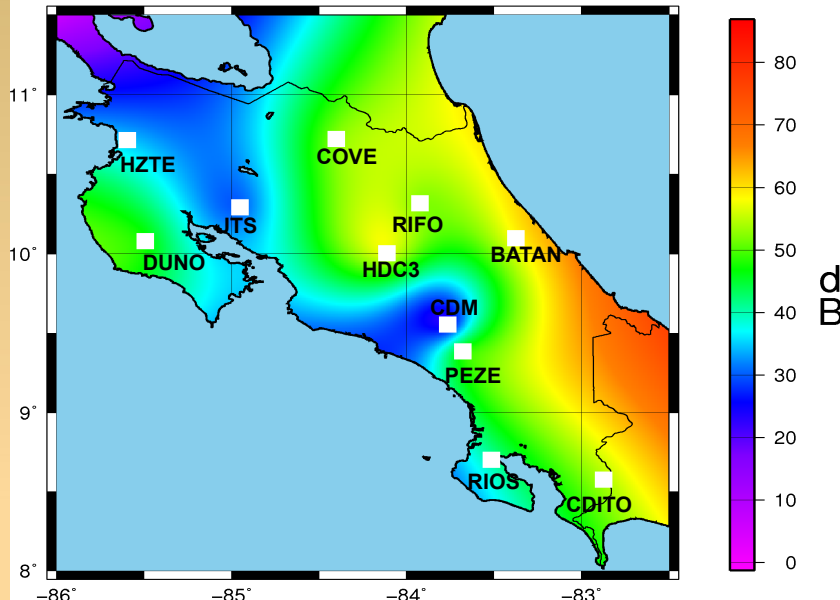
El espectrograma de CDM, la estación con menor ruido, presenta una importante caída energética en la banda de ~0.33 [s] a 0.1 [s] durante los meses de marzo, abril y septiembre de 2011. Su registro en la banda 16 a ~5 [s] no es uniforme y se ven cambios energéticos aislados.

En el mes de febrero de 2011, a partir de un periodo ~60 [s] hasta los 120 [s] se observa un aumento de la energía del ruido de fondo (dentro del rectángulo blanco). La misma está asociada con el problema de división de la curva probabilística del ruido de fondo de CDM.

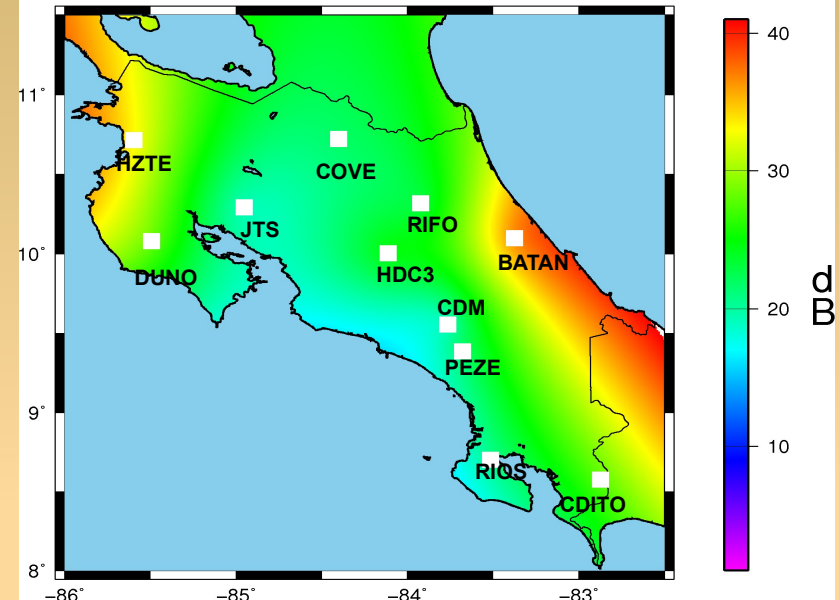


Variaciones: Diurnas-Nocturnas, estacionales y geográficas del nivel de ruido.

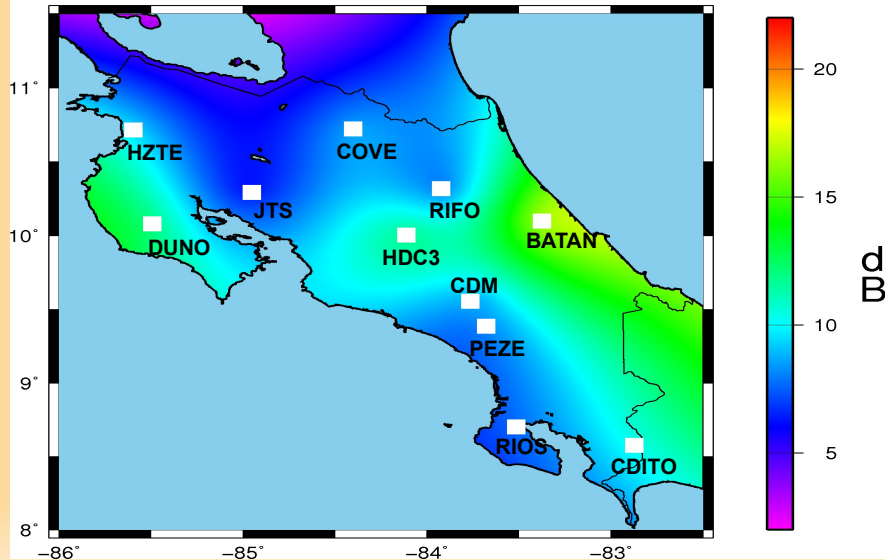
Banda de 0.1–1 s [1–10 Hz]



Banda de 1–4.6 s [0.21–1 Hz]



Banda de 37–120 s [0.027–0.008 Hz]



Nivel de ruido en diferentes bandas de frecuencia en Costa Rica. Los valores en dB son la diferencia del nivel de ruido de una estación y la de NLNM de Peterson, 1993.

La distribución del ruido ambiental en Costa Rica en la banda de 0.1 a 1 [s] (1-10 Hz) es considerablemente elevada en la zona central. Los mínimos valores son solamente alcanzados por las estaciones JTS y CDM.

En la banda 1-4.6 [s] se observa un distribución más uniforme del ruido a lo largo de Costa Rica. Destacándose el ruido de BATAN en la banda mencionada.

En la banda de 37 a 120 [s] se observa ruido ambiental que no sobrepasa los 15 dB.

6) Umbral de detección de la red sísmica de banda ancha OV

- Con el propósito de conocer el umbral mínimo de detección de la red de Banda Ancha OV se hace una aproximación básica que considera una fuente y el nivel de ruido ambiental.
- Para este propósito, se hace uso de un modelo de fuente de Bruno (1970 y 1971) para representar el espectro de amplitudes (en velocidad) de la fase P y S (M. Vassallo et al, 2012)

$$S(f) = M_0 \frac{R_{\vartheta\varphi} F_s}{2\rho R c^3} \frac{f}{1 + \left(\frac{f}{f_c}\right)^2} e^{-\pi t^* f},$$

- Dos terminos importantes representan el registro sísmico: la fuente y la atenuación. La representación de ambas en el espacio del tiempo es:

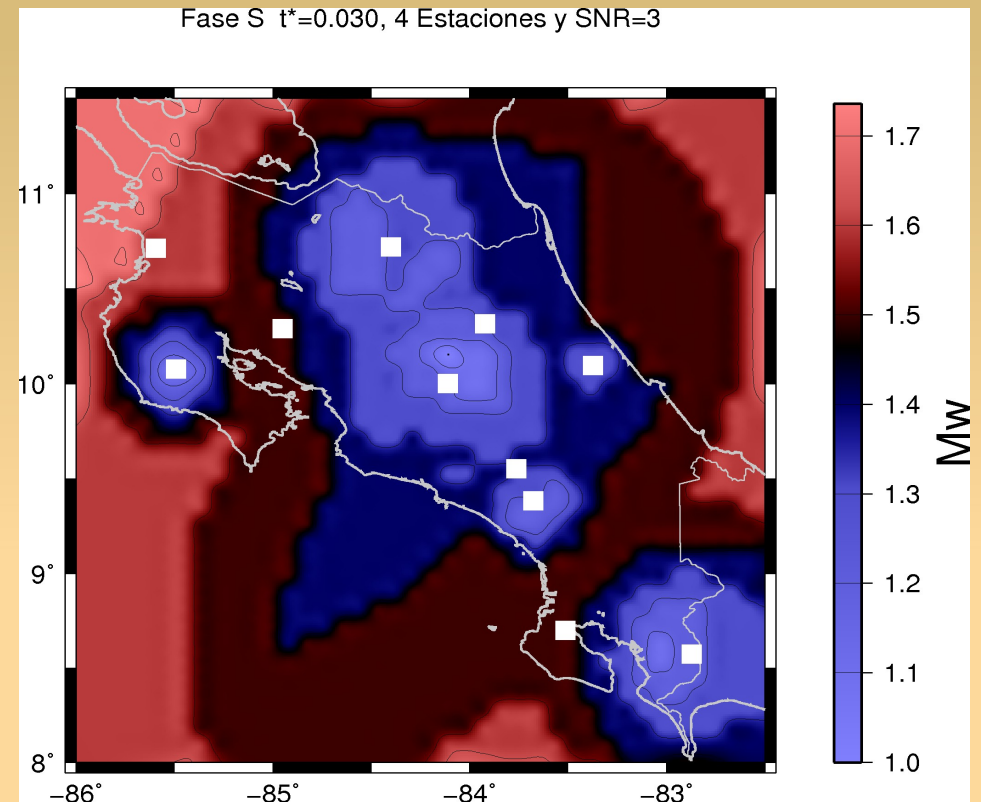
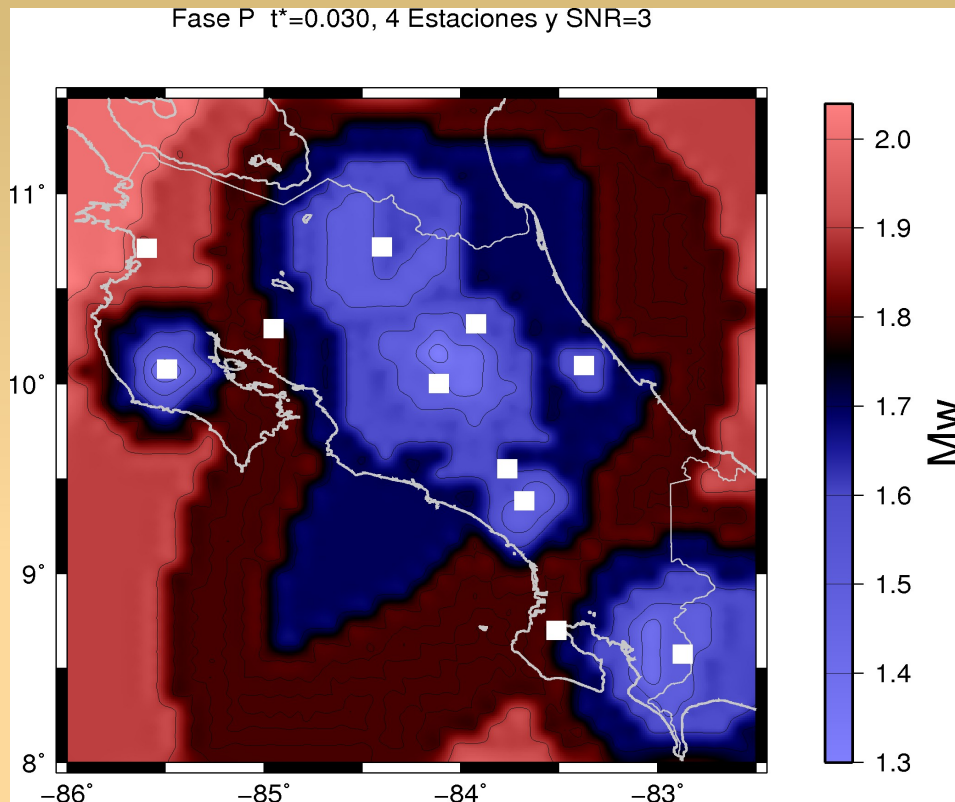
$$s_1(t) = M_0 \frac{\pi R_{\vartheta\varphi} F_s f_c^2}{\rho R c^3} (1 - 2\pi f_c t) e^{-2\pi f_c t} \quad t > 0,$$

$$s_2(t) = \frac{2}{\pi} \frac{t^*}{t^{*2} + 4t^2}.$$

- Realizando la convolución de lo anterior, utilizando el teorema de Parseval y considerando que los niveles RMS tienen significado en bandas de frecuencia, se obtiene la ecuación de la señal ruido (M. Vassallo et al, 2012) :

$$\text{SNR} = M_0 C(f_c, t^*) \frac{2R_{\vartheta\varphi} F_s f_c^2}{\rho R c^3 t^* \sqrt{2\langle P \rangle (f_{\max} - f_{\min})}}.$$

6.2 Mapas de Umbral de Detección de la red Banda Ancha OV.



Según el trabajo de M. Vassallo (2012) las variaciones de la señal ruido se deben principalmente al valor de la atenuación, representada por el tiempo reducido; ni la profundidad, ni la caída de esfuerzo son significativas.

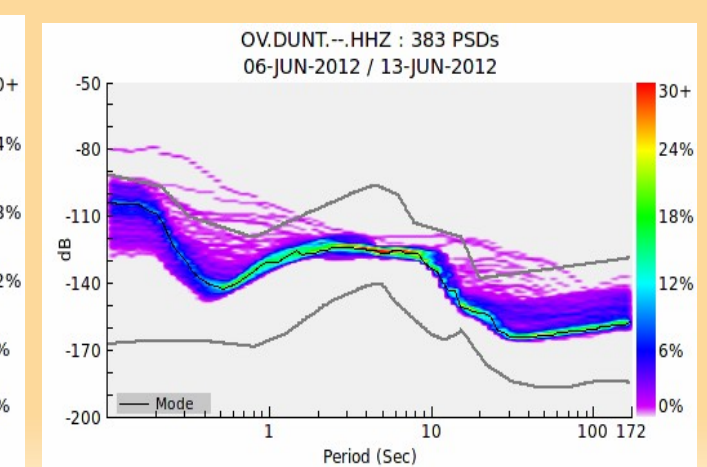
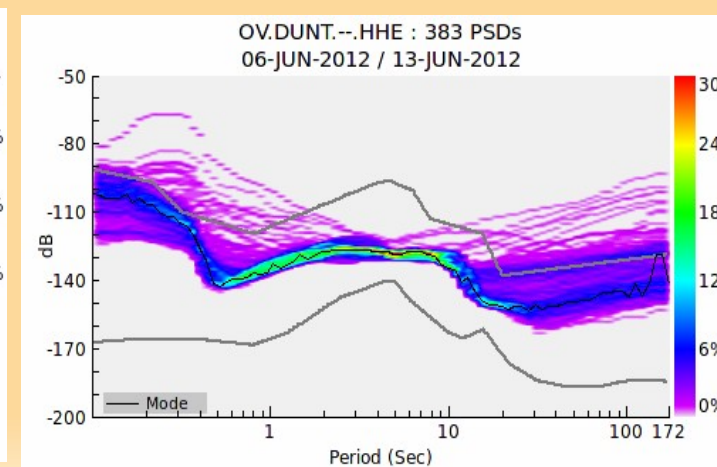
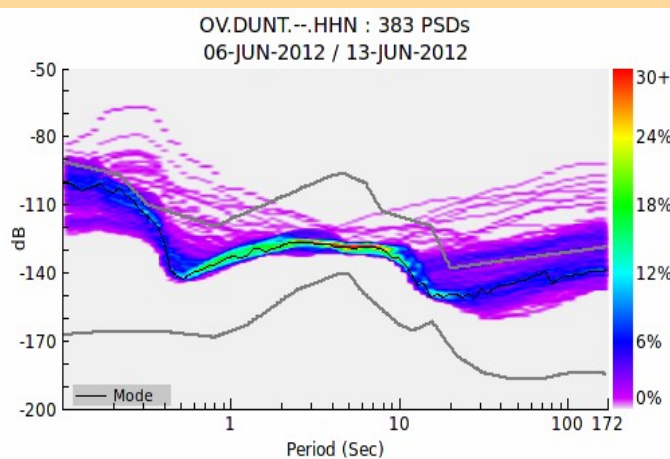
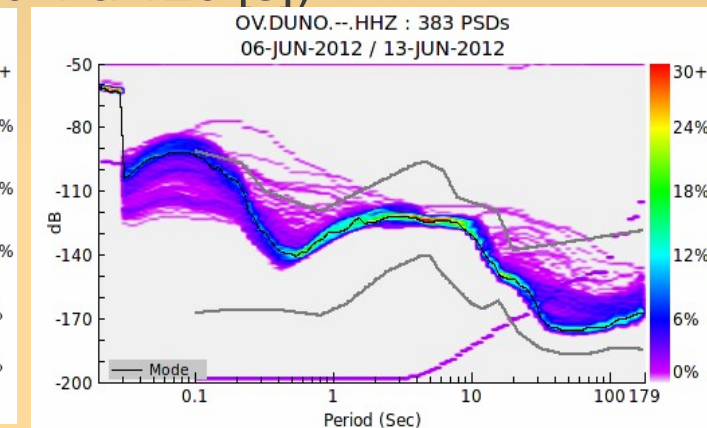
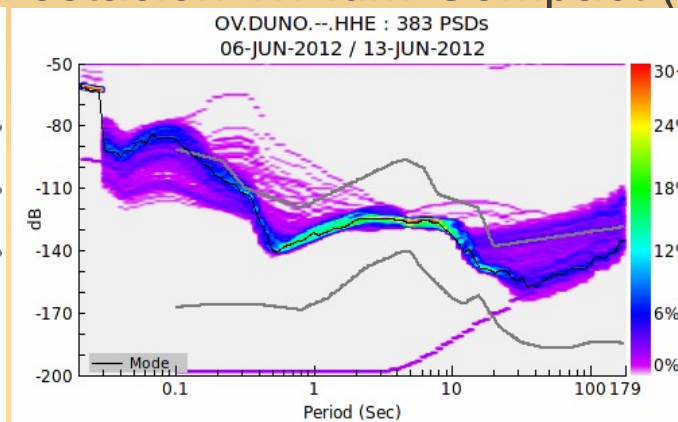
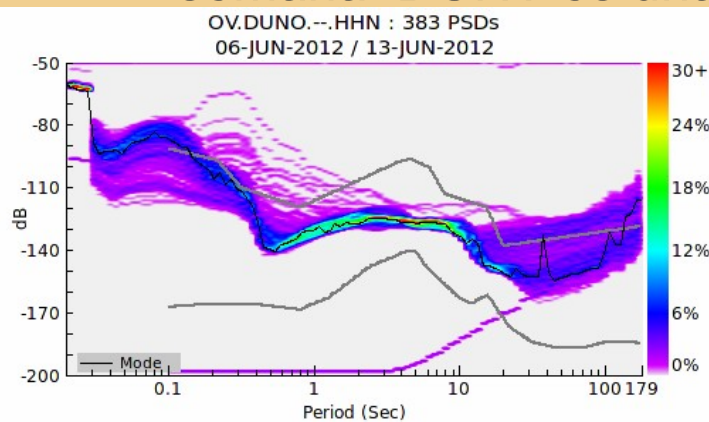
Las figuras representan los valores de detección de la red OV usando lo propuesto por M. Vassallo et al, 2012. La figura de la izquierda representa el umbral de detección de la fase P y la de la derecha la de la fase S. El umbral de la fase P, que alcanza valores de 1.3 Mw para SNR=3, y la fase S, que alcanza a valores 1.3 Mw para SNR=3, son distintos ya que la segunda de éstas tiene amplitudes mayores que la primera.

Es posible simular con valores de SNR mayores a 3 con el propósito de garantizar la buena lectura del tiempo de arribo, polaridad, etc sin embargo que la señal alcance ser 3 veces mayor el ruido para terremotos superficiales, donde fácilmente la complejidad de la corteza superior atenúa las ondas, hace que este valor de umbral sea considerado como razonable para conocer el umbral de detección de una red.

Para esta simulación se divide el área de interés en celdas de 1*1 km y en cada una es considerada como una fuente puntual.

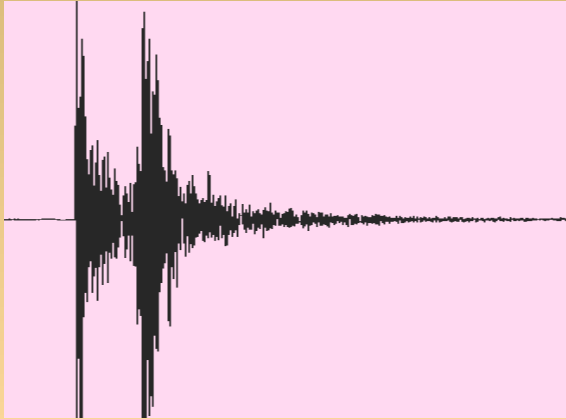
7. El problema de la estación DUNO

- Se observan ondas filtradas en las componentes horizontales de la estación DUNO y se hipotetiza que se debería a algún problema con el equipo.
- Para verificar si el equipo podría estar fallando se usa un sensor a la par de DUNO, llamado DUNT, para comparar el registro sísmico durante una semana. DUNT es una estación Trillium-Compact (0.1 a 120 [s])

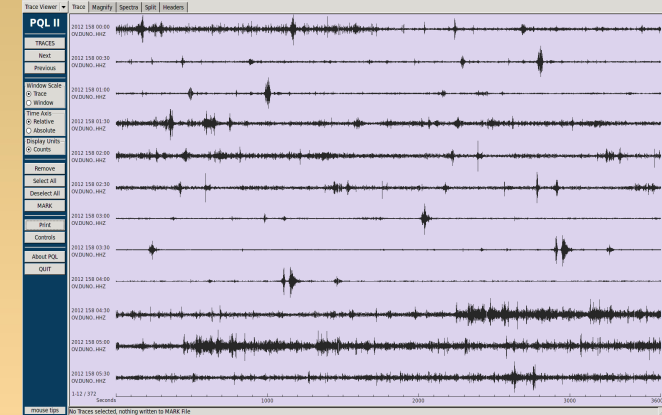
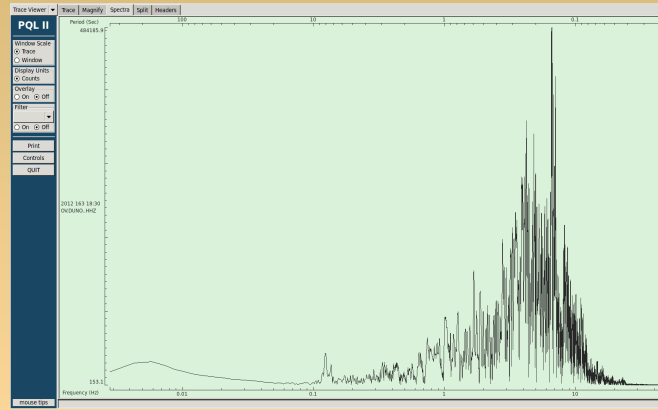


El problema de la estación DUNO

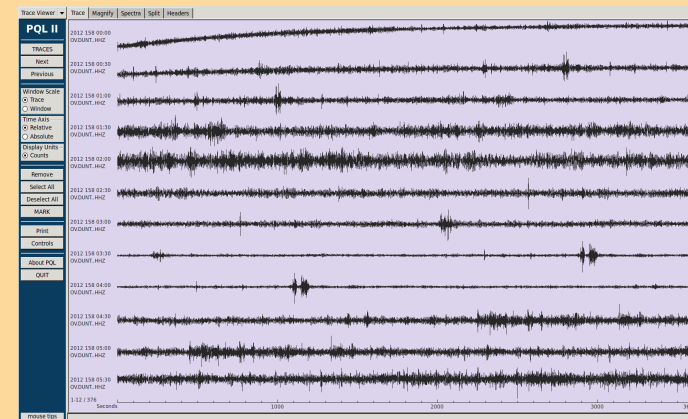
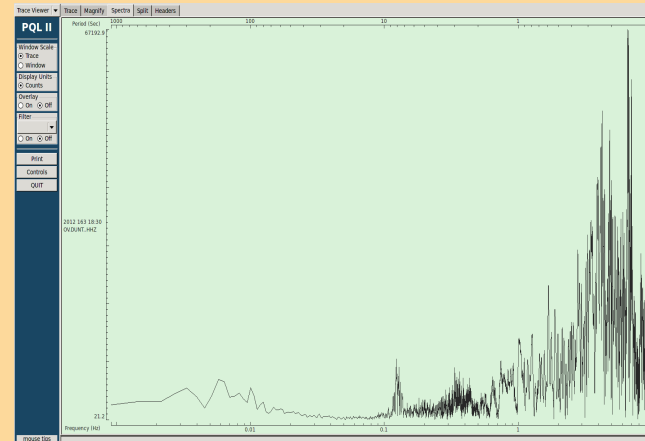
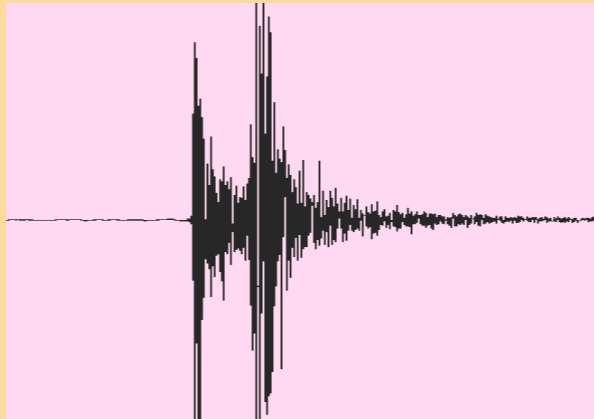
DUNO



Comparación del registro de DUNO y DUNT



DUNT



Un sismo ocurrido el día juliano 163/2012 sirve para comparar el registro del sensor de DUNO (Trillium-240) y el De DUNT (Trillium-Compact) en el espacio de temporal y frecuencial. No se observa anomalía alguna en el registro del sensor de DUNO, basado en la gran similitud del registro de éste y DUNT (solamente en la banda de 0.1 a 120[s])

En los gráficos anteriores, donde se presentan los resultados del análisis probabilístico de ruido, también se observa similitudes entre estas dos estaciones.

8 Problemas encontrados durante el análisis.

- La estación de Ochomogo (OCM) no pudo ser utilizado en este trabajo debido al problema de muestreo a 200 sps, que fragmento las formas de onda de esta estación sísmica. Desde el 8/11/2011.
- Se pudo detectar un problema de “bias” en las estaciones RIFO, COVE, PEZE y DUNO. El voltaje era superior a ± 2 V y se vio reflejado en registro en el mes de mayo de 2012, con oscilaciones de largo periodo que incluso llegaron a saturar el registro (llegando a alcanzar el “clip level”). Por este motivo no se hizo el análisis de los meses posteriores al mes de abril de 2012.
- Problemas menores en general, tales como gaps, cortes y otros limitan ver de manera fluida, en especial los espectrogramas, los datos. Aun cuando estos problemas estuvieron presentes, las muestras de PSD son considerablemente altas (mayores a 10000 PSD)

Conclusiones

■ Modelo Probabilístico de Ruido Ambiental de la Red OV.

- La aproximación estadística para caracterizar el ruido ambiental de la red de banda ancha OV presenta niveles elevados de ruido ambiental en la banda de interés de 1 a 10 [Hz], en comparación con el modelo de mínimo ruido de fondo de Peterson, 1993; la diferencia excede en más de 30 dB.
- Con excepción de CDM y JTS, se observa un punto de inflexión en aproximadamente 2~3 Hz (0.5-0.33 [s]) que marca el principio de la influencia de la actividad humana en el registro sísmico de las estaciones.
- La actividad humana genera ruido que incluso sobrepasa el modelo de máximo ruido sísmico de Peterson (NHNM) lo que hace que el umbral de detección de la red disminuya considerablemente.
- Si bien el ruido ambiental es elevado en periodos cortos, se puede ver que las fuentes que generan el mismo no son los suficientemente probables. Esto se refleja por la dispersión de los PSD entre los niveles de 5% y 90%, desde el punto de inflexión a 10 Hz.
- Los niveles de energía de las ondas de microsismo (en la banda 3 a 16 [s]) son registrados por toda la red pero no se indentifican pico característicos como en el modelo de mínimo ruido de fondo de Peterson. De acuerdo a los resultados, existiría dos banda energética, alrededor del los picos de microsismos, que reflejaría el registro de ondas generadas por el Océano Pacífico y Mar Caribe.
- En periodos largos (mayores a 16 [s]), el ruido ambiental no es bien definido en todas las estaciones. La variación de los niveles 5% y 90% en promedio es 30 dB lo cual demuestra que el 85% de la energía varía en ese rango. Para que exista dicha variación y que no exista un nivel definido de ruido, marcado por su alta probabilidad, las fuentes que estarían generandola serían fuentes que fluctúan; estas pueden ser la temperatura y la presión atmosférica.

Conclusiones

- Umbral de detección
 - Con los niveles de ruido sísmico fue posible obtener un umbral de detección de la red: ésta sería de 1.3 Mw detectada por al menos 4 estaciones y una SNR=3.
 - La simulación no contempla la forma del espectro de la fuente, sino mas bien un valor medio lo cual no limita ni tampoco es un modelo realístico. En esto casos, en los cuales se tratan de sismos pequeños, la forma del espectro de la fuentes podría llegar a ser importante.
- Variaciones diurnas, estacionales y regionales
 - El ruido aumenta a medida que la actividad humana incrementa, así lo demuestran los espectrogramas diarios. Variables físicas como temperatura y presión son las principales causantes de variación del ruido en periodos largos, sin embargo se debe correlacionar dicha influencia.
 - La depresión tropical Doce-E reportado por la “National Oceanic and Atmospheric Administration” (NOAA) de EEUU estaría asociada al incremento en ~10 dB en la energía en la banda de los microsismos, en los registros de las estaciones DUNO, RIFO, CDITO y RIOS.
- Problema de DUNO
 - La comparación de los registros de la estación temporal DUNT con la estación permanente DUNO muestra que no existe problema en el equipo sísmico de ésta última. Para descartar un problema asociado con el pilar (micro poros u otro tipo de problema) se debe hacer otra medida del registro de sismicidad pero fuera del pilar donde está el sismómetro Trillium-240.

Sugerencias

- Debido a la cercanía de las estaciones a sitios poblados se debe ya pensar en implementar sensores boreholes. La profundidad máxima debe ser estudiada y estar acorde al sitio. En 1994 una publicación de Christopher J. Young et al. estudiaron la dependencia del ruido de alta frecuencia (1 a 80 Hz) con la profundidad, usando los datos de sensores boreholes. Los resultados indican que a 1951 m el nivel de ruido reduce hasta 30 dB. Indica también que a unos “cuantos cientos de metros” la mayoría de ruido disminuye considerablemente.
- Instalar los sensores a 3~5 metros de profundidad, en zonas con capas sedimentarias gruesas y consolidadas (mucho mejor en sitios rocosos), podría disminuir el ruido de fondo en frecuencias alta. Sin embargo es necesario estudiar el ambiente que rodea a la estación con el fin de identificar posibles fuentes y su impacto, además de su disminución de energía con la profundidad.
- Al enterrar los sensores se disminuye la incidencia de cambios de temperatura así como de presión. Esto también debe ser estudiado seriamente para ver en cuántos dB es reducido el ruido por éstas variaciones.
- Registrar variaciones de presión con barómetros junto a los equipos sísmicos será muy importante para quitar el ruido generado por ésta variable.

Referencias

Maurizio Vassallo, Gaetano Festa, and Antonella Bobbio (2012) ***Seismic Ambient Noise Analysis in Southern Italy***, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 102, No. 2, pp. 574–586, April 2012, doi: 10.1785/0120110018

Daniel E. McNamara and Raymond P. Buland (2004), ***Ambient Noise Levels in the Continental United States***, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 94, No. 4, pp. 1517–1527, August 2004.

Christopher J. Young, Eric P. Chael, David A. Zagar and Jerry A. Carter, ***Variations in noise and signal levels in a pair of deep boreholes near Amarillo, Texas***, Bulletin of the Seismological Society of America October 1994 v. 84 no. 5 p. 1593-1607

Peterson, J. (1993). ***Observation and Modeling of Seismic Background Noise***. USGS Technical Report 93-322, 95 pp.