



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

EVALUACIÓN DE LA VARIACIÓN
TEMPORAL DEL NIVEL DE RUIDO
SÍSMICO EN LAS ESTACIONES DE LA
RED DE BANDA ANCHA DEL SERVICIO
SISMOLÓGICO NACIONAL

TESIS

Que para obtener el título de
INGENIERO GEOFÍSICO

PRESENTA
EDGAR MONTOYA QUINTANAR

DIRECTORA DE TESIS
DRA. XYOLI PÉREZ CAMPOS



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2018



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

ÍNDICE

RESUMEN	3
ABSTRACT	3
AGRADECIMIENTOS	3
1. INTRODUCCIÓN	5
2. RUIDO SÍSMICO	7
1.1 CARACTERÍSTICAS Y CLASIFICACIÓN DE LAS ONDAS SÍSMICAS	7
1.2 CARACTERÍSTICAS Y CLASIFICACIÓN DEL RUIDO SÍSMICO	8
1.3 MODELOS DE CURVAS DE RUIDO	10
1.3.1 <i>Modelo de Peterson</i>	10
1.3.2 <i>Modelo de McNamara</i>	11
1.4 CÁLCULO DE LA DISTRIBUCIÓN DE RUIDO EN UNA ESTACIÓN	12
2.4.1 <i>Análisis de Fourier</i>	12
2.4.2 <i>Curva de ruido</i>	16
2.4.3 <i>Distribución de ruido</i>	17
3. RUIDO SÍSMICO EN LAS ESTACIONES DE BANDA ANCHA DEL SERVICIO SISMOLÓGICO NACIONAL ...	18
3.1 SERVICIO SISMOLÓGICO NACIONAL	18
3.1.1 <i>Estación de Banda Ancha</i>	19
3.1.2 <i>Red de Banda Ancha</i>	21
3.2 RUIDO EN LAS ESTACIONES DE LA RED DE BANDA ANCHA	22
3.2.1 <i>Análisis de ruido para el año 2016</i>	23
3.2.1.1.1 RELACIÓN DE ESTACIONES CON NIVELES ALTOS DE RUIDO Y LAS FUENTES DE RUIDO CAUSANTES	36
3.2.2 <i>Análisis histórico de ruido para de estaciones seleccionadas.</i>	54
4 DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	87
REFERENCIAS	94
ANEXO I	96

Resumen

En este trabajo se evaluaron los niveles de ruido de las 63 estaciones que componen la Red de Banda Ancha (RBA) del Servicio Sismológico Nacional (SSN) de México. Esta evaluación se realizó con base en el procedimiento propuesto por McNamara en el año 2004. A partir del análisis espectral se generaron curvas de espectro de densidad de potencia y realizando funciones de densidad de probabilidad, de las cuales se tomó el percentil 50. Esto se realizó primero para el año 2016, donde para cada estación se generó una curva por cada mes. Posteriormente se seleccionaron estaciones, con base en previo conocimiento de modificaciones en las fuentes de ruido cercanas a éstas, para realizar un análisis cronológico a partir de su instalación y durante todo el lapso de su funcionamiento. Este análisis fue realizado de la misma forma antes mencionada. A partir de este análisis se realizó una asociación de las variaciones relevantes observadas en las curvas de ruido con los cambios conocidos de las distintas fuentes (culturales o ambientales). Se observó también que en ocasiones las variaciones del ruido instrumental modificaban drásticamente la curva de ruido durante un lapso de tiempo. Todas las curvas se compararon con el modelo propuesto por Peterson en el año de 1993.

Abstract

In this work, we evaluate the noise levels of the 63 stations that constitute the Broadband Network (RBA) of the National Seismological Service (SSN) of Mexico. This evaluation was made based on the procedure proposed by McNamara in 2004. Using spectral analysis, we obtain power density spectrum curves and probability density functions, from which the 50th percentile was taken. First, for the year 2016, we obtained one curve for each month. Subsequently, some stations were selected, based on prior knowledge of modifications in noise sources close to them, to perform a chronological analysis from its installation and throughout the period of its operation. This analysis was carried out in the same way as mentioned above. From this analysis, we associate relevant variations observed in the noise curves with the known changes of the different sources (cultural or environmental). It was also observed that sometimes variations in instrumental noise drastically modified the noise curve over a period of time. All the curves were compared to the model proposed by Peterson in the year of 1993.

Agradecimientos

Agradezco a mi directora de tesis, la doctora Xyoli Pérez Campos, quien me apoyó durante todo esta etapa de mi vida y me compartió sus experiencias y conocimientos. Sin

mencionar que también fue mi profesora de carrera tiempo antes y me dio la oportunidad de ejercer los conocimientos de mi carrera en el ámbito profesional.

También agradezco a mis sinodales:

A la maestra Caridad Cárdenas Monroy, quien me apoyó y estuvo a cargo de mi servicio, sus correcciones mejoraron la estructura de mi tesis.

Al doctor Jorge Aguirre González, cuyas palabras y sus correcciones me sirvieron para plasmar de una forma más clara las bases teóricas de la tesis.

El maestro Jorge Real Pérez, cuya tesis que realizó en su licenciatura me sirvió como guía y también porque sus sugerencias le dieron a mi tesis una mejor presentación en las imágenes realizadas.

Al doctor Leonardo Ramírez Guzmán, por su confianza en mi trabajo y sus comentarios tan acertados sobre mi tesis.

Por otro lado quiero externar mis agradecimientos a quienes me dieron su apoyo en el proceso de realización de mi tesis:

El doctor Víctor Hugo Espíndola Castro, a quien siempre pude consultar para muchas dudas, pero principalmente por su ayuda cada que tenía duda sobre modificaciones de los archivos que sirvieron para la corrección instrumental.

Al ingeniero Iván Rodríguez Rasilla, quien me apoyó siempre sobre todo tipo de dudas y problemas que me surgían con el sistema operativo Linux.

A los ingenieros de instrumentación, Antonio de Jesús Mendoza Carvajal, José Luis Cruz Cervantes, Jorge Alberto Estrada Castillo, Alejandro Hurtado Díaz y Fernando Navarro Estrada, ellos fueron mis guías para entender el entorno que rodeaba a las estaciones y los cambios instrumentales que habían tenido las mismas en su tiempo de vida, sin ellos no me hubiera sido posible entender ni asociar el comportamiento de las curvas de ruido.

Al maestro Moisés Contreras Ruiz Esparza, quien me apoyó a realizar el script para que fuera más eficiente el realizar el anexo de la tesis.

Agradezco al Servicio Sismológico Nacional por su acogimiento durante el tiempo que realicé mi tesis, y donde fui becario durante un semestre.

Agradezco a la Facultad de Ingeniería y todos los profesores que me impartieron clases, ya que gracias a ellos he podido llegar hasta este punto.

Le doy mi total agradecimiento a la Universidad Nacional Autónoma de México, institución a la cual le debo también mi educación desde mi bachillerato y quien confió en mí al aceptarme como su estudiante.

1. Introducción

El ruido sísmico es considerado un proceso estocástico y aleatorio, que proviene de las vibraciones que se generan en la Tierra y que se encuentran presentes en todo el mundo. Éste se manifiesta principalmente como ondas superficiales Rayleigh (Aki, 1957), generadas a partir de distintas fuentes que se encuentran generalmente sobre la superficie del planeta. Estas fuentes producen ruido en distintas frecuencias, el cual es detectado por los instrumentos de registro. Normalmente, un conjunto de estaciones sísmicas se colocan en un arreglo espacial denominado red, ésta tiene como propósito la detección de señales sísmicas características, que son producidas al interior de la Tierra, por lo que se busca que un sensor sísmico trabaje en condiciones óptimas para poder tener un buen umbral de detección sísmica.

En el Capítulo 2 de este trabajo se detallan algunos conceptos necesarios para poder realizar y comprender cómo se obtuvieron las estimaciones de ruido. Se describe también el procedimiento y los estadísticos obtenidos.

El Servicio Sismológico Nacional (SSN) cuenta actualmente con 63 estaciones que conforman una red denominada Red de Banda Ancha (RBA). Estas estaciones registran continuamente con la finalidad de detectar sismos. El Capítulo 3 presenta las características de los sensores y de las casetas donde se encuentran, así como la configuración espacial de la red actualmente. Las estaciones, al momento de ser instaladas, fueron ubicadas tomando en cuenta que las fuentes de ruido fueran mínimas, con el fin de tener un registro óptimo de sismos. Principalmente se buscaron zonas apartadas del ruido producido por el hombre. Asimismo, la construcción de las casetas donde se albergan los instrumentos sísmicos ha ido mejorando. Actualmente cuentan con especificaciones características para que la contribución de ruido ambiental, debido a la variación de procesos físicos de la Tierra, disminuyera significativamente. A pesar de estas medidas y precauciones tomadas, el entorno donde se encuentran las estaciones cambia conforme pasa el tiempo. Esto puede generar variaciones en los niveles de ruido que detectan las estaciones, ya sea de forma permanente o temporal.

Anterior a este trabajo se realizó una tesis sobre los niveles de ruido en 16 de las 25 estaciones con las que contaba la RBA en ese momento, además se estimó el efecto de sitio en éstas. Para ello se tomaron sólo cuatro ventanas de 1 hora y se diferencié el análisis en día y noche (Solano Hernández, 2006). Esta tesis en cambio tiene como objetivo principal el determinar cuál es la calidad del registro de las estaciones; asimismo, realizar el análisis cronológico de esto, buscando evaluar las variaciones en el nivel de ruido para las estaciones que se sabe han tenido cambios relevantes en sus fuentes de ruido, y con ello, estimar qué tanto podrían afectar este tipo de variaciones más adelante.

Para poder estimar el nivel de ruido de la RBA se realizó un análisis de todas las estaciones en el año 2016, el análisis se hizo procesando los registros de tiempo de forma mensual, para así poder comparar si existe variación mes con mes en los niveles de ruido. El rango de periodo utilizado para estimar el nivel de ruido fue de 0.1 a 50 segundos.

También, para las estimaciones para el año 2016, se buscaron estaciones que presentaran problemas en la instrumentación y recepción de datos, lo cual afectó la curva de ruido en forma relevante. A partir de esta selección de estaciones, se realizó también el análisis cronológico de ellas para poder identificar si habían tenido anteriormente recurrencia con estos problemas y qué tanto se ha visto afectada en su vida útil.

Otro análisis a partir de las estimaciones del nivel de ruido para el año 2016, se hizo para las estaciones que se encuentran cercanas a la costa de la República Mexicana. Se buscó la relación de los patrones de ruido observados en estas estaciones y las características oceanográficas diversas.

Después de las observaciones y el análisis hecho de las curvas de ruido para ese año, se eligieron algunas estaciones con la intención de identificar cambios en los niveles de ruido a lo largo de su registro cronológico. La elección de estas estaciones se basó fundamentalmente en el previo conocimiento de cambios en las fuentes de ruido que las rodean. Estos cambios se dieron principalmente por acción humana y se presentaron durante el periodo de registro de las estaciones. Para poder observar si existe alguna contribución notoria en la curva de ruido a partir de estos cambios, se estimó el nivel de ruido para todo el registro disponible de la misma forma que fue realizada en todas las estaciones para el año 2016. Después de obtener la estimación cronológica de los niveles de ruido en las estaciones seleccionadas, se relacionaron los cambios en las fuentes de ruido con los cambios observados en las curvas de ruido.

En algunos casos se observaron cambios notorios en fechas para las que se desconocen las fuentes de ruido que los causaron. Sin embargo, a partir de los rasgos que se conocen del entorno de la estación, así como del registro que se tiene de los cambios instrumentales o fenómenos naturales o antropogénicos que pudieron afectarla, se propusieron posibles fuentes causantes de los cambios en los niveles de ruido.

El procedimiento utilizado para realizar las estimaciones de ruido se basa en el trabajo de McNamara & Buland (2004). Este procedimiento es parecido al usado por Peterson (1993). La diferencia principal entre ambos es que los procesos de McNamara & Buland (2004) no discriminan las ondas de cuerpo y superficiales de los sismos registrados en las señales, como tampoco quitan los problemas técnicos de los instrumentos, como son los centrados de masas, pérdidas de información, picos, pulsos de calibración, etc. (McNamara & Boaz, 2005).

En el Capítulo 3 se muestran los resultados de las estimaciones de los niveles de ruido para el año 2016 en las estaciones que se seleccionaron por rasgos interesantes observados en las curvas de ruido. También se muestra el análisis histórico de las estaciones que fueron seleccionadas a partir de las estimaciones realizadas para el año 2016.

El Capítulo 4 cuenta con la discusión y conclusiones a las que se llegaron a partir de las estimaciones realizadas en este trabajo. Los objetivos principales fueron realizar un análisis de la calidad de las estaciones de la Red de Banda Ancha. Así como observar variaciones

cronológicas en estaciones con características particulares en sus curvas de ruido y con variaciones físicas en su entorno.

2. Ruido Sísmico

1.1 Características y clasificación de las ondas sísmicas

La propagación de ondas sísmicas en la Tierra sólida se divide en dos grupos principales: las ondas de cuerpo y las ondas superficiales.

Las ondas de cuerpo, a su vez se dividen en ondas de compresión y ondas de cizalla. Las ondas de compresión son aquellas cuyo movimiento de partícula es en la dirección en la cual se propagan y son llamadas ondas P; en cambio, las ondas de cizalla presentan un movimiento de partícula perpendicular a la de su propagación y tienen por nombre ondas S (Figura 2.1; Stein & Wysession, 2003).

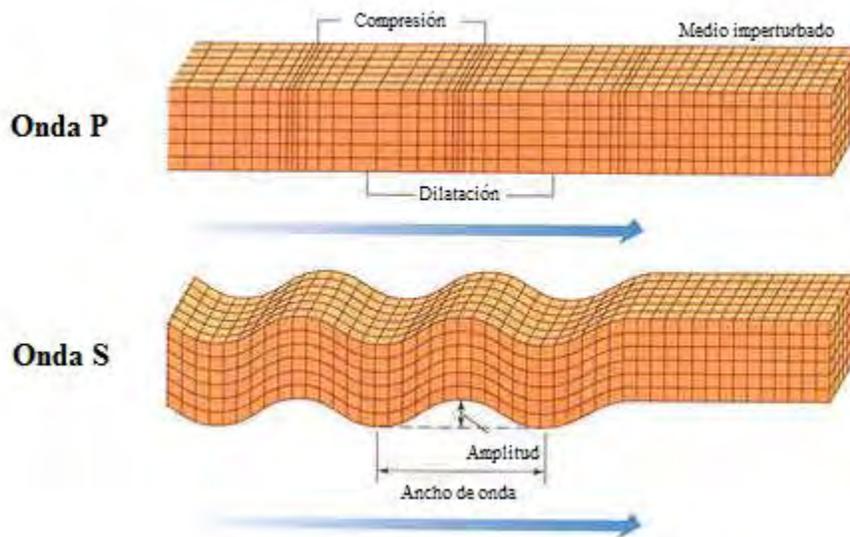


Figura 2.1 Propagación de ondas de cuerpo (Figura modificada de Stein & Wysession, 2003).

Las ondas superficiales son llamadas así porque viajan a lo largo de la superficie de la Tierra y se dividen a su vez en dos tipos: las ondas Love y las ondas Rayleigh.

Las ondas Love, llamadas así en honor a su descubridor, el científico Augustus Edward Hough Love, son ondas que se caracterizan por propagarse solamente en medios estratificados y que tienen un movimiento de partícula perpendicular a la dirección de propagación de forma solamente horizontal; al igual que las ondas Rayleigh, decrecen en su amplitud conforme su trayectoria alcanza más profundidad (Figura 2.2; Stein & Wysession, 2003).

Las ondas Rayleigh, llamadas así en honor a John William Strutt tercer Barón de Rayleigh, científico que las descubrió, son ondas que tienen sus mayores amplificaciones en la superficie libre y decrecen conforme aumenta la profundidad de su trayectoria. Su movimiento de partícula es de forma elíptica retrógrada en dirección del plano de propagación de la onda (Figura 2.2; Stein & Wysession, 2003).

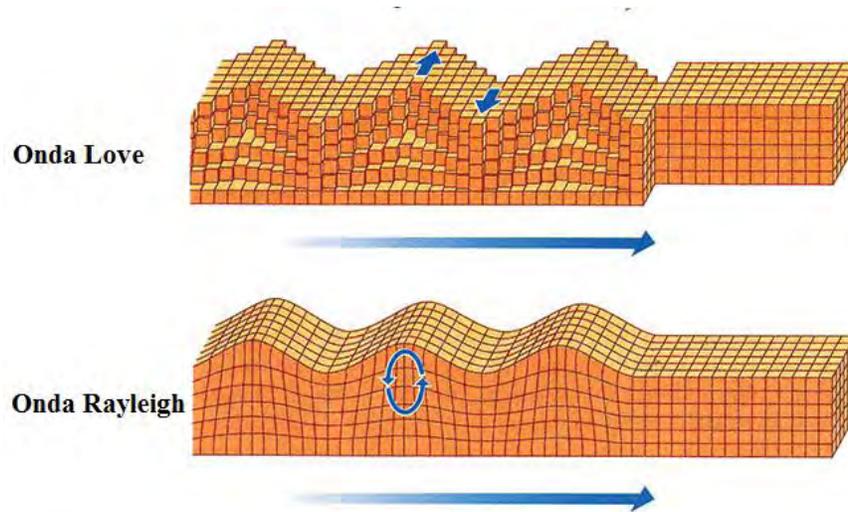


Figura 2.2 Propagación de ondas superficiales (Figura modificada de Stein & Wysession, 2003).

1.2 Características y clasificación del ruido sísmico

Se define al ruido sísmico como todas las vibraciones que se generan en la superficie terrestre.

Históricamente varios investigadores observaron y analizaron el comportamiento del ruido sísmico con el objetivo conocer su naturaleza. Uno de ellos fue Aki (1957), quien sugirió que el ruido ambiental es dominado principalmente por ondas superficiales, las cuales son generadas a partir de ondas de cuerpo incidentes que impactan a una interfase sedimento-basamento (Moreno Jaramillo & Alfaro Castillo, 2000). Estas ondas superficiales son principalmente ondas Rayleigh aleatorias y estacionarias (Aki, 1957).

El ruido se genera debido a distintas fuentes distribuidas espacialmente por un proceso estacionario y aleatorio, y se registra de forma continua en los sismómetros. Existen distintas fuentes de ruido, como lo son el ruido provocado por el propio instrumento, el ruido ambiental, el ruido cultural, los microsismos oceánicos, así como el registro de sismos (McNamara & Buland, 2004) (Figura 2.3):

Ruido cultural: Se le denomina de esta manera, ya que es ruido provocado por la acción humana. Se presenta como pisadas del hombre, maquinaria en funcionamiento, vehículos en movimiento, edificaciones en proceso de creación, entre otras más particulares. Este tipo de ruido es el más común en estaciones sismológicas, ya que éste se genera en la superficie de la Tierra y se percibe de forma directa en las estaciones. Se propaga como ondas

superficiales de frecuencias altas (1-10 Hz o 1-0.1 s), las cuales se atenúan a varios kilómetros de distancia y profundidad.

Ruido ambiental: Proviene del entorno natural que rodea a las estaciones sismológicas, se debe a factores diversos, como es el movimiento de ciertos objetos a causa del viento, tormentas, tornados, huracanes, el desplazamiento de agua en canales o ríos, movimiento geológico que se pueda dar así como por la presencia de volcanes; también se puede presentar por variaciones de temperatura.

En general se espera la generación de ondas de periodos mayores que 1 segundo sea debido a actividad volcánica, oleaje y corrimiento de agua, así como a las variaciones de temperatura que pueda sufrir la estación. Mientras que por la presencia del aire que choca en las laderas o contra objetos acoplados en tierra, se esperan frecuencias mayores que 1 Hz.

Microsismos oceánicos: En el espectro de ruido sísmico se pueden observar dos picos dominantes. Un pico se registra con amplitudes bajas, en un periodo largo de entre 10 y 16 s. Es conocido como el pico de frecuencia simple; se da cuando las corrientes de agua chocan contra las costas. Se trata de aguas de costa, donde la energía de las ondas del océano se convierte en energía sísmica. El otro pico, de amplitud alta y periodo corto, de entre 4 y 8 s, es conocido como el pico de doble frecuencia; es generado por la superposición de las ondas del océano de mismo periodo y que se trasladan en dirección opuesta, generando así ondas de la mitad de periodo que las ondas de frecuencia simple. Este tipo de ondas provoca perturbaciones en la columna de agua que se propaga en el fondo del océano, incrementándose significativamente con la presencia de tormentas oceánicas de larga duración.

Ruido inherente al sistema instrumental: Este tipo de ruido no se da a causa de las vibraciones terrestres; se manifiesta por la naturaleza electromecánica del sensor mismo y sus características físicas. También es debido a la transferencia de datos que se utiliza para comunicar cada estación de una red sismológica a un centro de recepción de datos de dicha red.

Sismos: Se registran de forma esporádica durante todo el registro continuo del ruido. Se cuenta con registro de telesismos, los cuales se caracterizan por ondas superficiales mayores de 10 s, mientras que los sismos locales y cercanos a la estación se caracterizan por ser eventos de periodos menores de 1 s (McNamara & Buland, 2004).

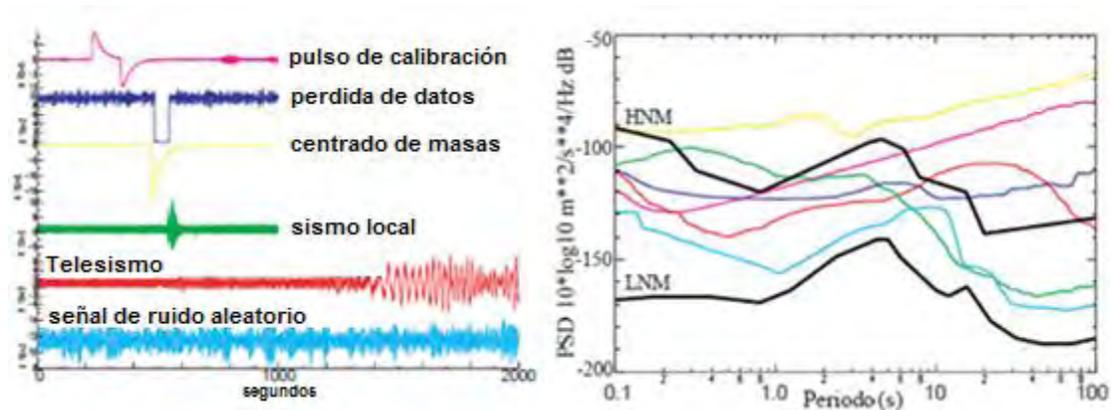


Figura 2.3 Izquierda. Contribuciones de ruido sísmico en tiempo. Derecha. Gráfica de espectro de densidad de potencia de las distintas contribuciones de ruido (Figura modificada de McNamara & Buland, 2004).

1.3 Modelos de curvas de ruido

En la historia de la sismología han surgido modelos estándares de curvas de ruido, esto con el objetivo de definir el rango de amplitudes aceptables respecto a las frecuencias que registran los sismómetros, para así poder considerar si cuentan con una calidad adecuada de registro.

El primer modelo de curvas de ruido fue publicado en 1959 por Brune y Oliver. Este modelo sirvió como base para evaluar y comparar características de sitio de sismómetros y definir especificaciones instrumentales, para con esto poder predecir la respuesta de un instrumento tanto para ambientes de ruido alto como para ambientes de ruido bajo (Peterson, 1993).

A partir de la evolución en sismología, los sismómetros alcanzaron un rango de frecuencia más amplio, por lo que nuevos modelos de curvas de ruido fueron necesarios para poder predecir la respuesta al ruido para estos nuevos instrumentos.

1.3.1 Modelo de Peterson

En el año de 1993, Peterson publicó un reporte donde da a conocer un nuevo modelo de curvas de ruido. En él utilizó 75 estaciones alrededor del mundo. Las estaciones se ubicaban en condiciones ambientales representativas para poder caracterizar distintas fuentes de ruido, utilizando distintos tipos de sensores, entre los cuales se contó con sismómetros de nuevas características denominados sismómetros de banda ancha. Empleó un registro de entre 2 y 3 años.

El trabajo de Peterson tenía como principal objetivo el documentar un modelo sísmico de ruido, el cual fuera útil por un largo tiempo. Hasta la fecha, este modelo se utiliza como base para estimar la calidad de cualquier estación en cualquier lugar del mundo. El modelo

propuesto por Peterson cuenta con dos curvas límite denominadas Modelo nuevo de ruido alto (NHNM, *New High Noise Model*) y Modelo nuevo de ruido bajo (NLNM, *New Low Noise Model*), las cuales son la curva límite de ruido alto y la curva límite de ruido bajo, respectivamente (Figura 2.4).

Es importante señalar que para la creación del modelo, la selección de datos fue procesada de tal forma que se buscó evitar sismos y otros fenómenos transitorios como problemas instrumentales o de transmisión de datos, para así asegurar la coherencia de datos.

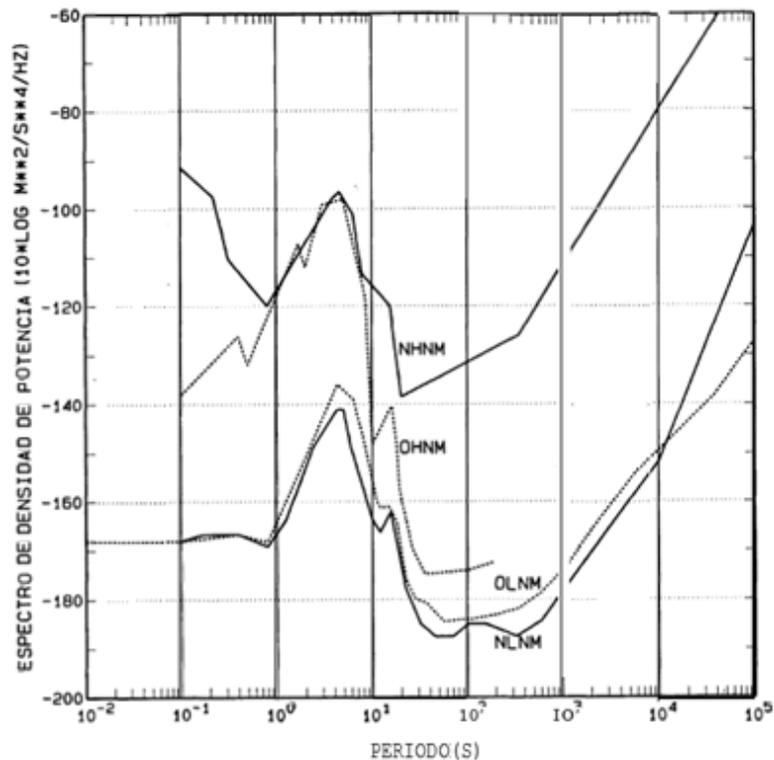


Figura 2.4 Curvas de Brune y Oliver (líneas punteadas, OHNM y OLLNM) y curvas de Peterson (líneas continuas, NHNM y NLNM) (Figura modificada de Peterson, 1993).

1.3.2 Modelo de McNamara

En 2004, McNamara publicó un nuevo modelo de curvas de ruido. En él hace uso de 159 estaciones pertenecientes a la *United States National Seismograph Network* (USNSN) y al *Advanced National Seismic System* (ANSS). Tomó un periodo de registro de 2 a 3 años para la obtención del modelo. Éste permite estimar niveles de ruido adecuados para estaciones con un rango de 0.01 a 16 Hz

McNamara propuso un modelo con un enfoque estadístico. Hace uso del cálculo de funciones de probabilidad de densidad. Su objetivo fue proporcionar un método estándar para la caracterización de ruido ambiental de fondo con base en el modelo de Peterson (1993), diferenciándose al analizar el ruido sísmico de forma continua; es decir, sin

discriminar ningún tipo de evento transitorio, generando así un modelo más realista para la respuesta en la curva para ambientes de ruido bajo (Figura 2.5).

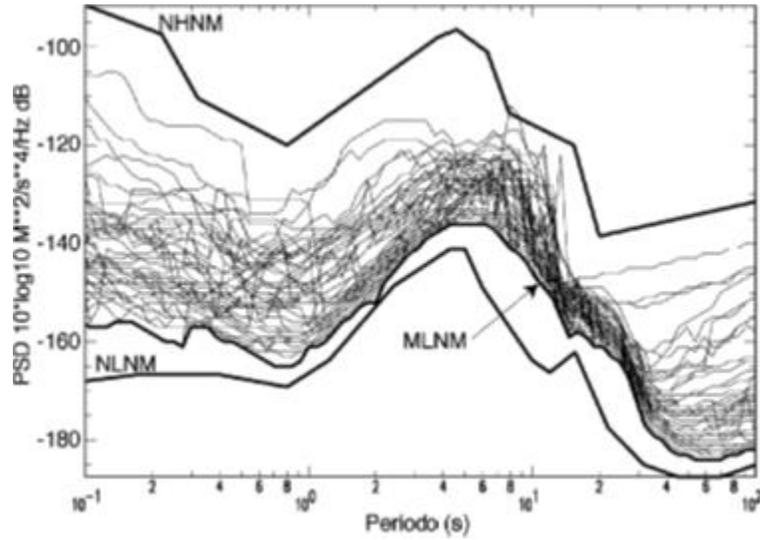


Figura 2.5 Modelo de curva de ruido bajo (MLNM) propuesto por McNamara (Figura modificada de McNamara & Buland, 2004).

1.4 Cálculo de la distribución de ruido en una estación

2.4.1 Análisis de Fourier

Una señal en función del tiempo puede ser aproximada como la suma o la integral de funciones cosenoidales, donde cada una de estas funciones se caracteriza con una frecuencia y amplitud constante (Havskov & Alguacil, 2004).

La serie de Fourier de una señal finita cualquiera de duración T se define como:

$$x(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos(\omega_n t) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin(\omega_n t), \quad (2.1)$$

donde

$$\omega_n = 2n\pi/T, \quad (2.2)$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_0^T \cos(\omega_n t) x(t) dt \quad \text{y} \quad b_n = \frac{2}{T} \int_0^T \sin(\omega_n t) x(t) dt.$$

El espectro de amplitud está definido por (2.2) como

$$A_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2}. \quad (2.3)$$

Los coeficientes a_n y b_n pueden representarse como una función exponencial compleja, a partir de la relación

$$\text{sen}(x) = \frac{e^{ix} + e^{-ix}}{2i} \quad (2.4)$$

y

$$\text{cos}(x) = \frac{e^{ix} + e^{-ix}}{2}. \quad (2.5)$$

Así la ecuación (2.1) puede escribirse como

$$x(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} F_n e^{i\omega_n t} + \sum_{n=1}^{\infty} F_{-n} e^{i\omega_{-n} t}, \quad (2.6)$$

donde

$$F_n = \frac{a_n - ib_n}{2} \text{ y } F_{-n} = \frac{a_n + ib_n}{2}. \quad (2.7)$$

Definiendo ω_{-n} como $-\omega_n = -\frac{2n\pi}{T} = \omega_{-n}$ y F_{-n} como el complejo conjugado de F_n , el exponencial negativo puede reescribirse como

$$\sum_{n=1}^{\infty} F_{-n} e^{i\omega_{-n} t} = \sum_{n=-1}^{-\infty} F_n e^{i\omega_n t}. \quad (2.8)$$

De esta forma se pueden utilizar frecuencias negativas, por otro lado si $F_0 = a_0$, (2.6) puede escribirse como

$$x(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} F_n e^{i\omega_n t}, \quad (2.9)$$

siendo el coeficiente espectral F_n definido como

$$F_n = \frac{1}{T} \int_0^T x(t) e^{i\omega_n t} dt. \quad (2.10)$$

Reescribiendo la Ecuación (2.3), tomando en cuenta (2.7), se tiene que:

$$|F_n| = \frac{\sqrt{a_n^2 - b_n^2}}{2} = \frac{A_n}{2} \text{ o } A_n = 2|F_n|. \quad (2.11)$$

2.4.1.1 Teorema del muestreo

Una señal continua puede digitalizarse al multiplicar dicha señal con un tren de impulsos de Dirac, esto con el fin de poder discretizar la señal para su estudio. El tren de impulsos de Dirac cuenta con una distancia constante entre cada delta de Dirac, dicha distancia será la que tenga la señal digital final y se le llamará el intervalo de muestreo de la señal (Figura 2.6).

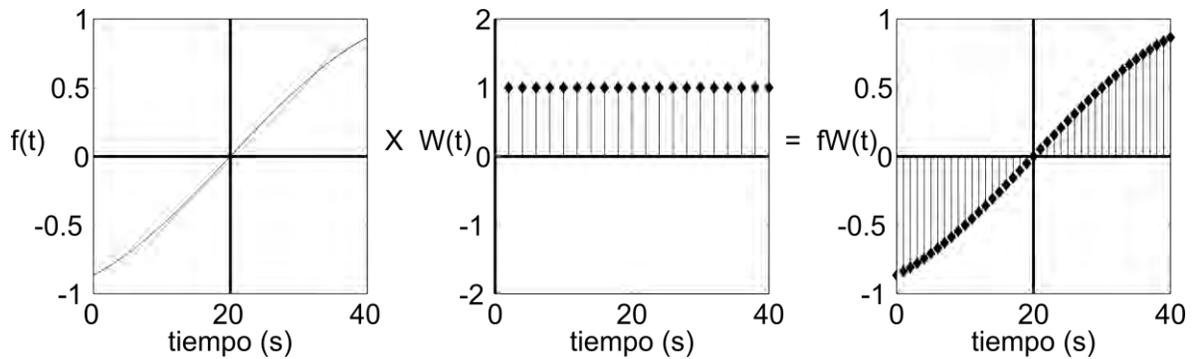


Figura 2.6 Proceso de muestreo de una señal. Multiplicando una señal continua (izquierda) con tren de impulsos de Dirac (centro), lo cual da como resultado la señal digital (derecha).

Para poder digitalizar una señal, se debe elegir cuidadosamente el intervalo de muestreo, ya que de esto depende que la señal digital final obtenida sea lo más parecida a la señal original. Si el intervalo de muestreo es más grande de lo deseado, esto afectará a la señal al pasarla al dominio de la frecuencia y producirá un efecto llamado aliasing (Figura 2.7).

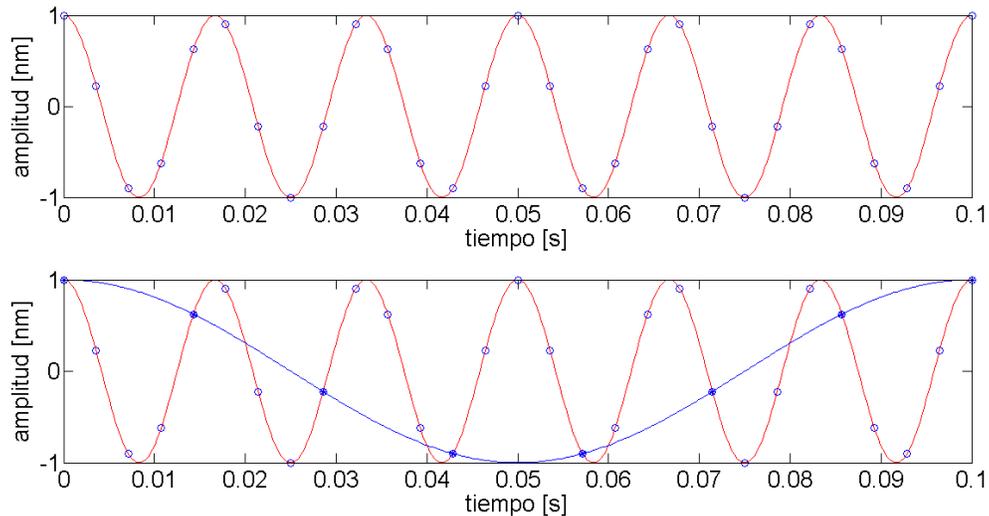


Figura 2.7 Arriba. Curva continua con un intervalo de muestreo deseado (círculos blancos) que recrean la misma curva. Abajo. Se recrea una curva con menores muestras que las deseadas según el teorema del muestreo, se da así una curva distinta a la original y se provoca el efecto de aliasing.

Para poder tener un intervalo de muestreo óptimo se debe buscar que

$$\frac{1}{2f_c} = T_n, \tag{2.12}$$

siendo T_n el intervalo de muestreo de Nyquist y f_c la frecuencia de corte de la función a discretizar.

2.4.1.2 Espectro de densidad de potencia

Un método común para poder cuantificar el ruido sísmico es la aplicación del análisis espectral, el cual podrá describir una distribución en función de la frecuencia de la potencia contenida en la señal. A esto se le llama el espectro de densidad de potencia (Havskov & Alguacil, 2004).

Dado que se trabaja con señales discretas, la Ecuación (2.9) se puede aproximar como la sumatoria

$$F_n \cong \frac{1}{T} \sum_{k=0}^{N-1} x(k\Delta t) e^{-i\omega_n k\Delta t} \Delta t = \frac{\Delta t}{T} \sum_{k=0}^{N-1} x(k\Delta t) e^{-i\omega_n k\Delta t}. \quad (2.13)$$

Dado que es deseable que el espectro de amplitud de cualquier señal sea constante independientemente del espaciado de frecuencia $\Delta f = 1/T$, es preferible utilizar el espectro de densidad de amplitud. Éste se define como el espectro de amplitud multiplicado por la cantidad de estimaciones por Hz, n . El número n de amplitudes por Hz puede calcularse como $n = \frac{1}{\Delta f} = T$. Así, al multiplicar (2.13) por T , se obtiene el espectro de densidad de amplitud $F_n^d = T F_n$. Las unidades del espectro de densidad de amplitud es amplitud/Hz. La forma más usual de calcular el espectro de densidad de amplitud es

$$F_n^d = \Delta t \sum_{k=0}^{N-1} x(k\Delta t) e^{-i\omega_n k\Delta t} = \Delta t \sum_{k=0}^{N-1} x_k e^{-i\omega_n k\Delta t} = \Delta t F_n^{DFT}, \quad (2.14)$$

donde

$$x_k = x(k\Delta t) \text{ y } \omega_n k\Delta t = \frac{2\pi n}{T} k \frac{T}{N} = \frac{2\pi nk}{N} \quad (2.15)$$

y

$$F_n^{DFT} = \sum_{k=0}^{N-1} x_k e^{-2\pi nk/N}. \quad (2.16)$$

F_n^{DFT} es llamado la transformada discreta de Fourier (DFT por sus siglas en inglés).

La Ecuación (2.11) da un promedio del espectro de amplitud, esto puede utilizarse para dar un promedio del espectro de potencia,

$$P_n = |F_n|^2 = \frac{a_n^2 + b_n^2}{4} = \frac{A_n^2}{4}, \quad -\infty < n < \infty. \quad (2.17)$$

El teorema de Parseval establece que la energía en el dominio de Fourier es el mismo que en el dominio de tiempo; es decir,

$$\sum_{n=-\infty}^{\infty} |F_n|^2 = \frac{1}{T} \int_0^T (x(t))^2 dt. \quad (2.18)$$

Usando (2.18), tenemos que la suma de dos términos, F_n y F_{-n} , de acuerdo con el teorema de Parseval, se tiene la suma de todas las frecuencias, así,

$$\text{Energía total} = |F_n|^2 = F_{-n}^2 + F_n^2 = 2 \frac{A_n^2}{4} = \frac{A_n^2}{2}. \quad (2.19)$$

Dado que el espectro es calculado la mayoría de las veces como F_n^{DFT} , usando (2.14), el espectro de amplitud se calcula como

$$P_n = |F_n^{DFT}|^2 \frac{\Delta t^2}{T^2} \quad (2.20)$$

y si sólo son consideradas las frecuencias positivas, se tiene

$$P_n = 2|F_n^{DFT}|^2 \frac{\Delta t^2}{T^2}. \quad (2.21)$$

Al igual que para el espectro de amplitud, para obtener un valor constante de la energía es mejor trabajar con el espectro de densidad de potencia (PSD por sus siglas en inglés), así al multiplicar (2.21) por T se tiene

$$\frac{1}{T} X_n^2 = \frac{1}{T} |\Delta t F_n^{DFT}|^2. \quad (2.22)$$

Considerando sólo frecuencias positivas, el espectro de densidad de potencia P_n^d se calcula como

$$P_n^d = |\Delta t F_n^{DFT}|^2 \frac{\Delta t^2}{T} 2. \quad (2.23)$$

Si las unidades de las amplitudes están en metros, las unidades del espectro de densidad de potencia será $m^2/s = m^2/Hz$. Usualmente las amplitudes están en valores de aceleración, así el espectro P_n^a tendrá las siguientes unidades $(ms^{-2})^2/Hz$.

2.4.2 Curva de ruido

El ruido espectral se representa comúnmente como el espectro de densidad de potencia en unidades de aceleración, P_n^a , y se mide en dB referidos a 1 $(m/s^2)^2/Hz$. Así, el nivel de ruido se calcula como (Havskov & Alguacil, 2004)

$$\text{Nivel de ruido} = 10 \log [Pa(\omega)/(m/s^2)^2/Hz]. \quad (2.18)$$

Para el cálculo del espectro de densidad de potencia, en este trabajo se analizaron y procesaron por separado las tres componentes de velocidad en cada estación (vertical (HHZ), norte-sur (HHN), este-oeste (HHE)). Se utilizó el registro de ruido por lapsos mensuales para realizar un análisis de la evolución cronológica de cada estación perteneciente al Servicio Sismológico Nacional (SSN, 2018), y se aplicó el siguiente procedimiento.

Primero se retiró la línea de tendencia y la media para anular la influencia de los periodos largos que afectan a la señal de los datos analizados, posteriormente se tomaron ventanas de 60 segundos de duración con el fin de reducir la variancia de las funciones de densidad de probabilidad. Con el mismo fin se realizó un traslape del 50% entre estas ventanas. Finalmente se aplicó un suavizado tipo coseno al 10% para disminuir las amplitudes de los extremos de la señal de cada ventana con el objetivo de evitar los lóbulos que pueda producir la señal finita en tiempo al momento de pasar al dominio de las frecuencias. A

continuación se pasó la señal al dominio de la frecuencia y se dividió entre la respuesta instrumental, dada por su función de transferencia en términos de polos y ceros. Este procedimiento está basado en el descrito por McNamara & Buland (2004).

Dado que algunas estaciones presentaron cambios de digitalizador o de sismómetro durante su tiempo de funcionamiento, hubo que emplear la respuesta correspondiente en cada periodo de operación.

Después, la señal obtenida se pasó a unidades de aceleración, y se derivó la señal en el dominio de la frecuencia, lo que corresponde a multiplicarla por $i\omega$. Entonces se tomó el espectro de amplitud de la función y se elevó al cuadrado, para así obtener el espectro del nivel de ruido. Éste se presenta en unidades de decibeles (dB) con respecto a la aceleración (Figura 2.8).

Este procedimiento se realizó analizando el rango de periodo de 0.1 a 50 segundos para todas las estaciones. Se eligió este rango siguiendo las metodologías de Peterson (1993) y McNamara & Buland (2004).

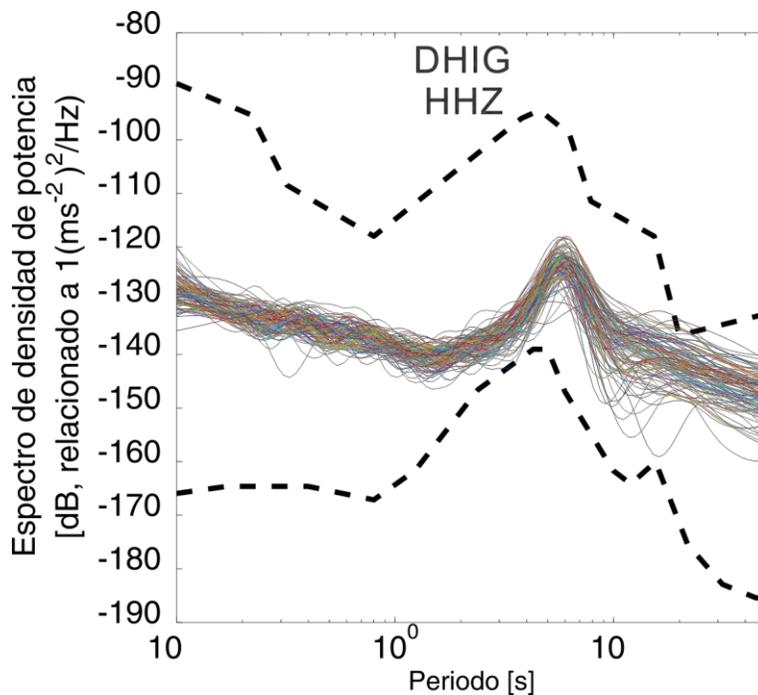


Figura 2.8 Espectros de densidad de potencia de 15 minutos de registro de la estación Demacú, Hidalgo. Cada curva corresponde a una ventana de 60 s. Las líneas punteadas son el modelo propuesto por Peterson (1993).

2.4.3 Distribución de ruido

A partir de la generación de todas las curvas de ruido, de ventanas de 60 s, para un mes de registro, se grafican las funciones de densidad de potencia del ruido espectral (PDF por sus siglas en inglés) con el fin de tener una estimación de la variación del ruido durante ese

tiempo. Estas curvas son entonces acumuladas según su contenido de dB a lo largo de los periodos abarcados.

A partir de estas funciones de densidad de probabilidad, se obtienen los percentiles 10, 50 y 90, así como también el máximo y el mínimo de la distribución (Figura 2.9).

Dado este procedimiento se eligió trabajar con el percentil 50 o mediana, ya que representa mejor los niveles de ruido sísmico registrado en la estación.

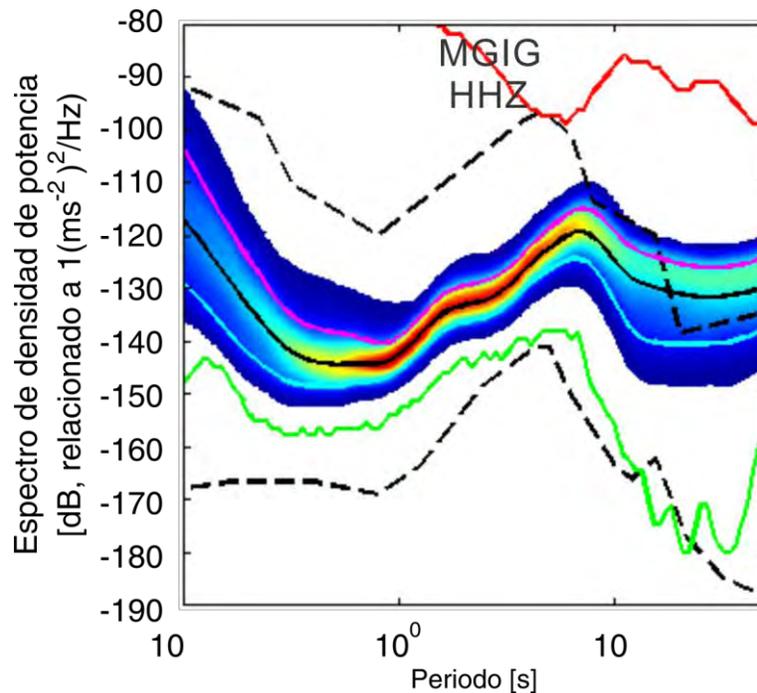


Figura 2.9 Función de probabilidad de densidad y percentiles 10 (cian), 50 (negro) y 90 (magenta), mínimo (verde) y máximo (rojo) de la distribución de ruido en la estación Malinantepec, Guerrero. Las líneas punteadas son el modelo propuesto por Peterson (1993).

3. Ruido sísmico en las estaciones de banda ancha del Servicio Sismológico Nacional

3.1 Servicio Sismológico Nacional

El Servicio Sismológico Nacional (SSN), fundado en 1910 por orden del presidente Porfirio Díaz, comenzó a operar con una red de nueve estaciones con sismógrafos Wiechert de periodo corto y una central en Tacubaya en la Ciudad de México. Con el paso del tiempo, y dada la evolución de la tecnología en el mundo, se crearon instrumentos con mayor rango de banda de frecuencia, así como mejoras en su peso, sensibilidad y ganancia, por lo que el SSN fue adquiriendo equipos más avanzados y a su vez agrandando su red de estaciones disponibles.

En el año 1929, el SSN quedó a cargo de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), y a partir de 1948 quedó adscrito al Instituto de Geofísica de la UNAM.

Fue en el año 1992 cuando se inició la modernización con equipos de banda ancha y se comenzó a operar en ese momento 22 estaciones a las cuales se les denominó, y sigue llamando, Red de Banda Ancha (RBA).

Con el aumento de las capacidades de disco duro para almacenar datos, se comenzó a almacenar datos en forma continua en 2002, se inició con 20 muestras por segundo para no saturar la capacidad de los discos duros. Gracias al avance tecnológico, conforme fueron aumentando las capacidades de éstos, se pudieron almacenar datos a mayor muestreo por segundo, a 80 ó 100 muestras por segundo. Estos cambios se realizaron en la mayoría de las estaciones entre los años 2006 y 2010.

3.1.1 Estación de Banda Ancha

Aunque las estaciones de banda ancha del SSN cuentan con una gran variedad de sensores, la mayoría están constituidas por un sismómetro STS-2, un sensor de aceleración FBA-23, registrador Quanterra Q330, así como con un reloj GPS.

El sismómetro STS-2 es un sensor que registra movimientos de velocidad en tres direcciones (norte-sur, este-oeste y vertical) y se le considera un sensor de banda ancha, ya que registra velocidades de 0.01 a 30 Hz (Figura 3.1).

El registrador Quanterra almacena la señal detectada por el sensor de velocidad. Este registrador cuenta con un digitalizador Q330 de 24 bits, el cual se encarga de digitalizar la señal transmitida por el sensor de velocidad. Las señales son muestreadas en forma continua a 100, 20, 1 y 0.1 muestras por segundo (mps) (Servicio Sismológico Nacional, 1999).

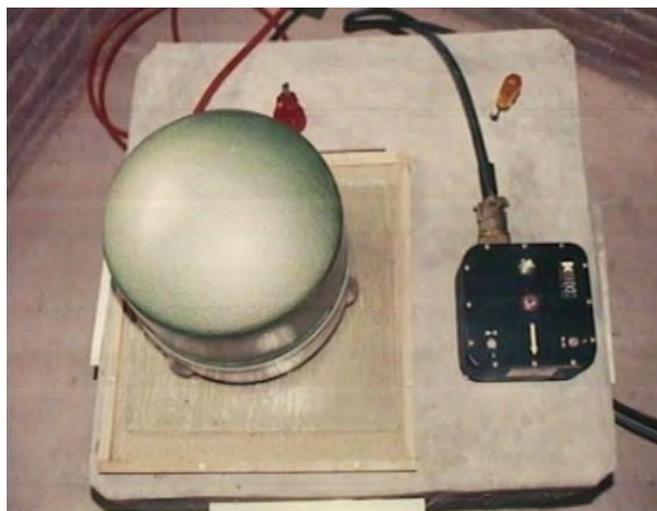


Figura 3.1 Sismómetro STS-2 del lado izquierdo y acelerómetro FBA-23 del lado derecho (Servicio Sismológico Nacional, 2017).

Otros sismómetros que ha utilizado el SSN en sus estaciones, y en algunos casos sigue utilizando son:

- STS-1H/VBB con un periodo de hasta 360 segundos.
- Trillium 240 con un periodo de hasta 240 segundos.
- PBB-200S con un periodo de hasta 120 segundos.
- Trillium 120 P/PA con un periodo de hasta 120 segundos.
- Trillium Compact con un periodo de hasta 120 segundos.
- CMG-40T con un periodo de hasta 30 segundos.
- GS-13 con un periodo de hasta 1.33 segundos.

El digitalizador Q680 LT/G sigue siendo utilizado por algunas estaciones del SSN y fue utilizado por la mayoría de las estaciones antes de que tuvieran el digitalizador Q330. Este digitalizador guarda las muestras a 20 y 80 mps.

La instrumentación sísmica y el equipo eléctrico necesario para su funcionamiento se resguarda en casetas llamadas estaciones sismológicas (Figura 3.2). Éstas tienen una construcción especial de doble pared, entre ambas paredes algunas estaciones cuentan con poliuretano o unicel, mientras que otros sólo es aire lo que está entre estas paredes. La función de esta construcción especial es el reducir los cambios de temperatura al interior. Las estaciones sísmicas se encuentran divididas en dos cuartos. En un cuarto se encuentran los sensores sísmicos, los cuales están cubiertos por una caja de aluminio que tiene la función de una caja de Faraday y que sirve para aislar los sensores de los campos eléctrico estáticos, al interior de esta caja de Faraday se encuentra un aislante térmico. Los sensores se encuentran sobre un pilar que es independiente de la estructura de la caseta. En el otro cuarto se localizan todos los equipos necesarios para la digitalización, almacenamiento y envío de datos; así como de suministro eléctrico (Figura 3.3).



Figura 3.2 Exterior de la estación sismológica de Morelia Michoacán [MOIG] (Servicio Sismológico Nacional, 2017).

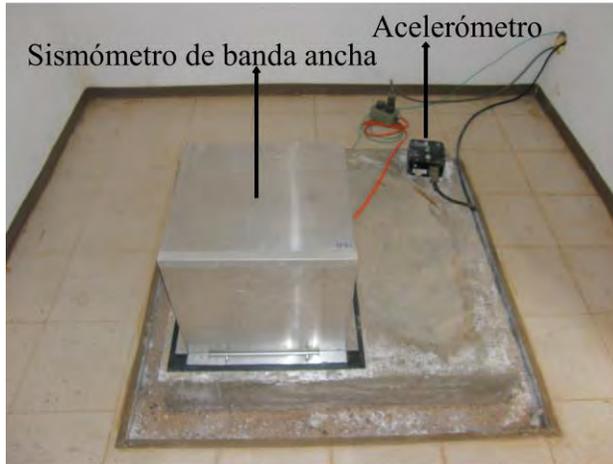


Figura 3.3 Interior de la estación MOIG. Izquierda: el cuarto con los instrumentos. Derecha: el cuarto con equipo eléctrico y de comunicación (Servicio Sismológico Nacional, 2017).

3.1.2 Red de Banda Ancha

Actualmente la red de observatorios sismológicos de banda ancha está compuesto por 63 estaciones distribuidas en todo el territorio nacional (Figura 3.4), con mayor concentración en las costas del Pacífico, zona del Golfo de California, la zona de la Faja Volcánica Transmexicana y el Golfo de México. En estas zonas es donde se presentan grandes esfuerzos constantes que generan sismos de gran relevancia.

Cada una de estas estaciones se instalaron de forma estratégica, para que su función de detección de sismos fuera lo más óptima posible, tomando en cuenta la presencia de perturbaciones a causa de ruido tanto cultural como ambiental.



Figura 3.4 Estaciones de la Red de Banda Ancha del SSN.

3.2 Ruido en las estaciones de la Red de Banda Ancha

En este trabajo se realizó el análisis de las curvas de ruido de las 63 estaciones para el año 2016.

A partir del análisis realizado en las estaciones en ese año, se eligieron estaciones con características interesantes para realizar un análisis cronológico de las mismas y así poder observar la variación del ruido. La elección se hizo con base en cambios relevantes ocurridos en torno a la estación; por ejemplo, ya sea aumento en la población o por la edificación de alguna estructura. También fueron seleccionadas por las características particulares de la infraestructura donde se encuentran ubicadas las estaciones.

Las curvas de ruido se realizaron por mes, tanto para el año 2016, como para el análisis cronológico de las estaciones seleccionadas. Esto con la intención de poder observar más a detalle su comportamiento. Para identificarlas se propone una escala de color, la cual se muestra en la Figura 3.5. Ésta es la misma para todas las estaciones y para todos los años analizados en el presente trabajo.



Figura 3.5 Escala de color utilizada en la gráfica anual de las curvas de ruido.

De igual forma, las líneas no continuas en negro mostradas en las figuras representan el modelo propuesto por Peterson (1993).

3.2.1 Análisis de ruido para el año 2016

Los resultados del análisis del año 2016 de todas las estaciones de la RBA se encuentran en el Anexo I. A partir de estos resultados se realizó un análisis de las curvas en cada estación y entre estaciones.

En el análisis de ruido se encontraron estaciones que se asociaron según las siguientes características: niveles elevados de ruido, afectaciones instrumentales y comportamiento de la curva asociado al ruido ambiental de costa. Estas características se pueden identificar a lo largo de todo el periodo analizado o solamente en un lapso de éste.

3.2.1.1 Estaciones con niveles de ruido alto

Para la elección de las estaciones que se consideraron con niveles de ruido alto se tomó como referencia el NHNM de Peterson (1993). Se consideran estaciones ruidosas aquellas cuyas curvas de ruido rebasan o se encuentran muy cercanas al nivel de referencia NHNM. Esto para cualquier región del rango de periodo analizado y cuya ocurrencia fuera de forma permanente. Asimismo, si la curva de ruido mostraba picos pronunciados en el rango de periodo de 0.1 a 1 s, donde existe mayor contribución de las fuentes culturales, se consideró como curva con niveles altos de ruido. Por último, se incluyeron también estaciones que tienen a su alrededor construcciones específicas, como presas o escuelas.

ACIG (Acambay, Estado de México)

Las curvas de ruido para la estación ACIG (Figura 3.6) muestran niveles altos en las componentes horizontales a partir de los 10 segundos de periodo en los meses de septiembre y octubre. Se puede observar que la componente horizontal con mayor afectación es la norte-sur cuyas curvas de los meses de septiembre y octubre sobrepasan los límites del modelo propuesto por Peterson (1993). Esto podría deberse a variaciones de la presión atmosférica (De Angelis & Bodin, 2012). Por otro lado, se puede observar una

cresta entre 0.2 y 0.7 segundos, ésta podría presentarse debido principalmente a la influencia de las fuentes culturales que se generan alrededor de la estación.

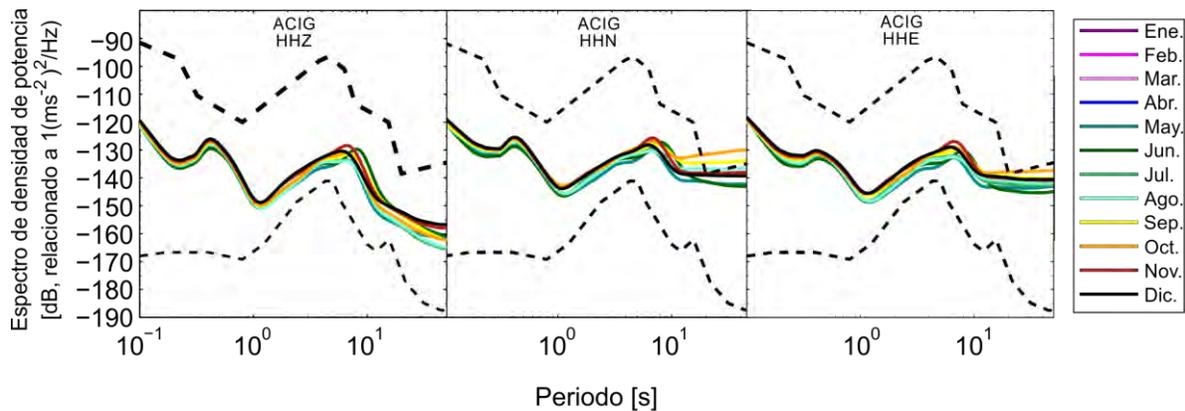


Figura 3.6 Curvas de ruido de la estación ACIG del año 2016.

CSIG (Choix, Sinaloa)

Las curvas de ruido presentadas en la Figura 3.7, para la estación CSIG, muestran entre 0.1 y 0.8 segundos de periodo una diferencia en el nivel de ruido de más de 10 dB entre las componentes horizontales y la vertical, siendo las componentes horizontales las más afectadas por el ruido. Para los meses de septiembre y octubre (curvas amarillo y naranja respectivamente) se observa cómo todas las componentes aumentan 10 dB. Asimismo se observa que para los meses de enero a abril, en el mismo rango de periodo, la curva disminuye. Para este caso, 10 dB para la componente vertical y no más de 5 dB para las componentes horizontales. Estos efectos se atribuyen a la infraestructura de la represa Choix que se encuentra muy cercana a la estación. Por otro lado, a partir de los 20 segundos de periodo se observa cómo las curvas de las componentes horizontales se encuentran siempre muy cercanas del NHNM y en ciertos meses hasta lo sobrepasan, sobretodo la componente norte-sur. Esto, como lo sugiere De Angelis & Bodin (2012), podría deberse a variaciones de la presión atmosférica.

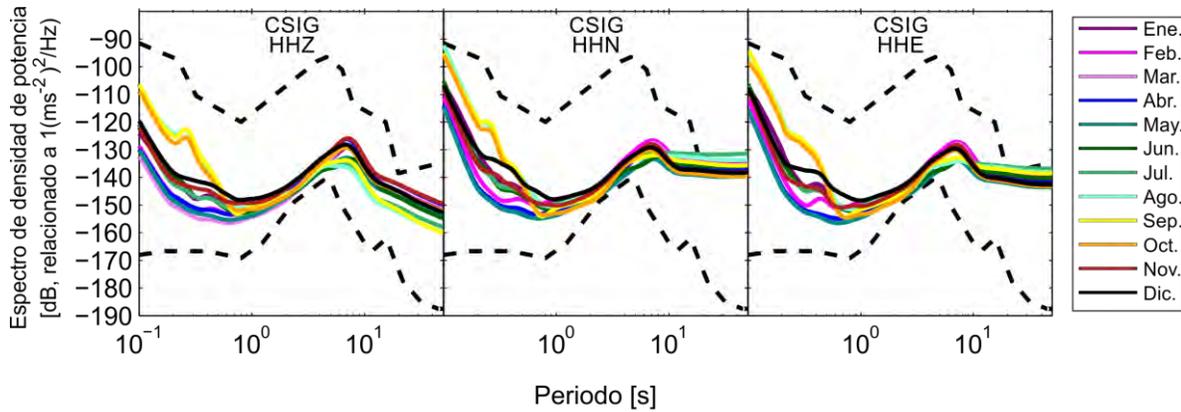


Figura 3.7 Curvas de ruido de la estación CSIG del año 2016.

CUIG (Ciudad Universitaria, Ciudad de México)

Para la estación CUIG, la Figura 3.8 muestra, entre 0.2 y 1 segundos de periodo, que la curva de ruido de las tres componentes sobrepasa el NHNM. Esto puede atribuirse principalmente al ruido cultural en la zona de Ciudad Universitaria, el cual está presente durante todo el año.

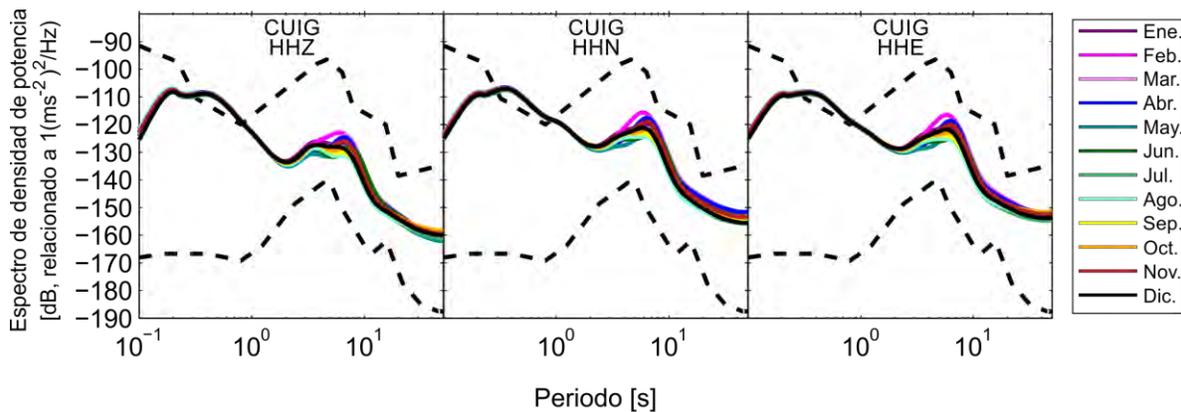


Figura 3.8 Curvas de ruido de la estación CUIG del año 2016.

DAIG (Dos Arroyos, Guerrero)

Las curvas de ruido de la estación DAIG (Figura 3.9) muestran niveles altos en sus componentes horizontales desde 10 segundos de periodo. A partir de 20 segundos de periodo se encuentran siempre muy cercanas del NHNM, y en la mayoría de los meses hasta lo sobrepasan. Los meses del año menos energéticos en ese rango de periodo son junio y julio (curvas verde y olivo respectivamente). Esto podría deberse principalmente a variaciones de la presión atmosférica (De Angelis & Bodin, 2012).

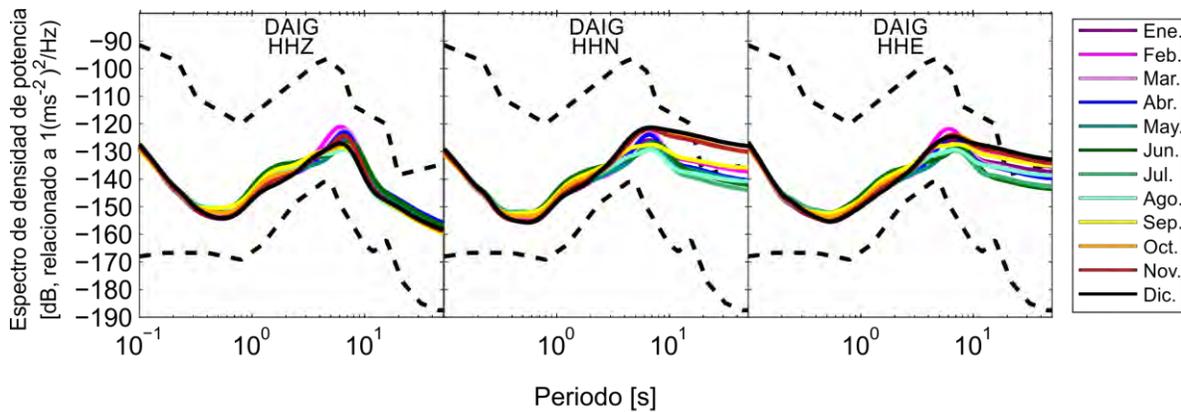


Figura 3.9 Curvas de ruido de la estación DAIG del año 2016.

IGIG (Irapuato, Guanajuato)

La estación IGIG se encuentra ubicada dentro de las instalaciones del Instituto Tecnológico Superior de Irapuato. Se observa para las tres componentes, entre 0.1 y 1 segundos de periodo, que la curva de ruido (Figura 3.10) está muy cercana del NHRM. Esto podría deberse principalmente a la contribución de ruido cultural.

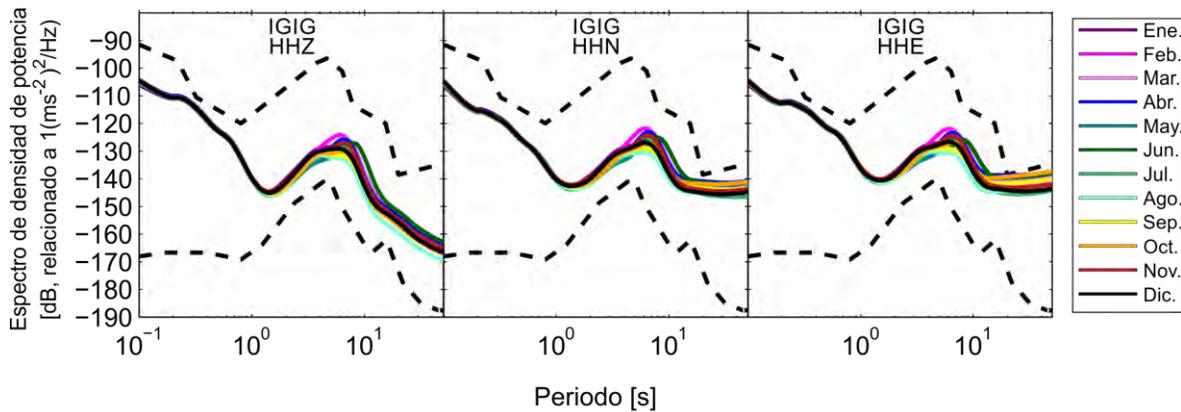


Figura 3.10 Curvas de ruido de la estación IGIG del año 2016.

JRQG (Juriquilla, Querétaro)

La estación JRQG se encuentra dentro de la infraestructura del Centro de Geociencias de Juriquilla. Se puede apreciar para las tres componentes, que entre 0.1 y 1 segundos de periodo, la curva de ruido (Figura 3.11) está muy cercana del NHRM. Esto posiblemente se deba en mayor parte a la contribución de ruido cultural.

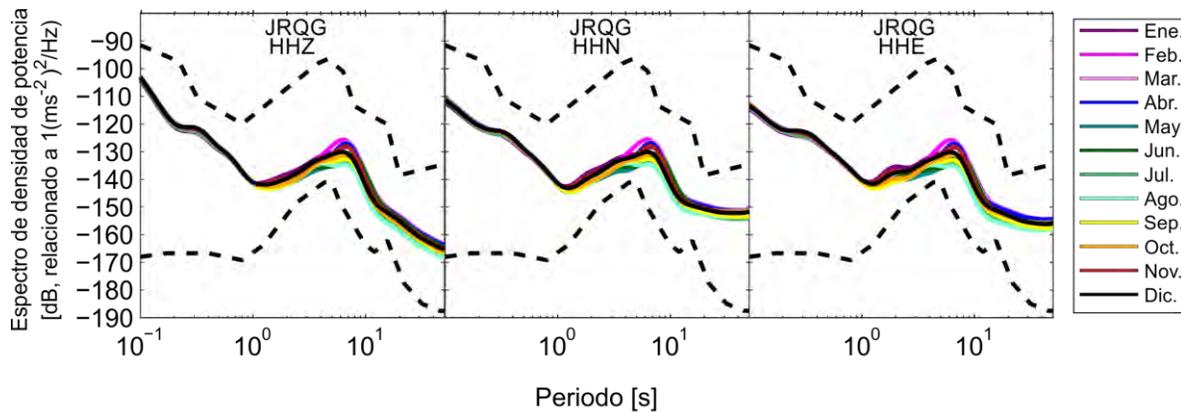


Figura 3.11 Curvas de ruido de la estación JRQG del año 2016.

MAIG (Mazatlán, Sinaloa)

Para las componentes horizontales de MAIG, se observa en la Figura 3.12, que a partir de 15 segundos de periodo ambas curvas de ruido sobrepasan el NHHM. Esto se atribuye a que dicha estación se encuentra a pocos metros del mar y por consiguiente es afectada por ruido característico de ambientes costeros, como son las corrientes de aire, ráfagas de viento, el golpeteo y movimiento de las olas del mar.

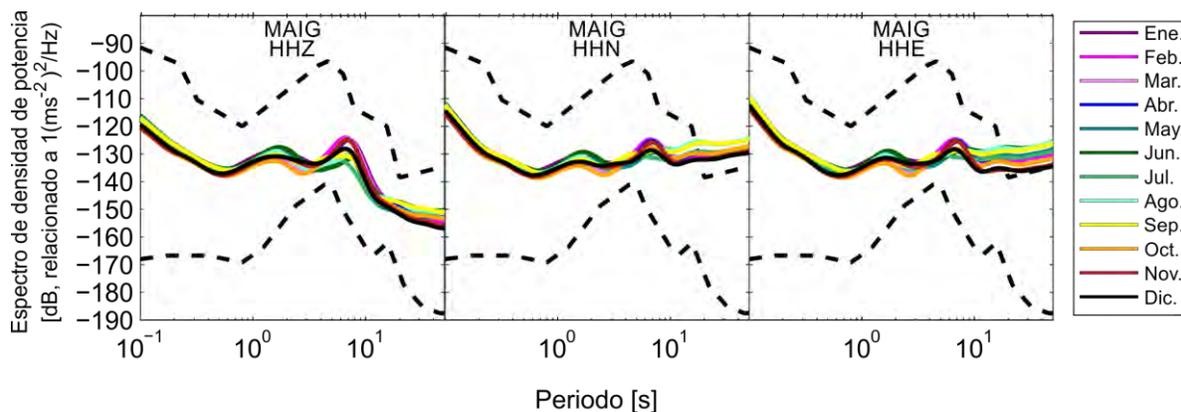


Figura 3.12 Curvas de ruido de la estación MAIG del año 2016.

MBIG (Mexicali, Baja California)

Las curvas de ruido de la estación MBIG (Figura 3.13) muestran en las tres componentes niveles altos de ruido alto en toda la curva. Entre 0.2 y 1 segundo de periodo, las curvas sobrepasan el NHHM. Mientras entre 0.1 y 0.2 segundos de periodo las componentes horizontales se muestran apenas sobre el NHHM. La estación se encuentra cercana a un campo geotérmico. Éste lleva a cabo procesos de intercambio de calor y mecánicos para la generación de energía, por lo que se le atribuye el ruido cultural detectado por el sísmómetro de la estación en diferentes rangos de periodo. Asimismo se observa cómo

sobrepan las curvas de las componentes horizontales el NHNM entre 8 y 10 y entre 20 y 50 segundos de periodo. En los meses de enero, febrero, noviembre y diciembre (curvas violeta, magenta, rojo y negro respectivamente) se observa un aumento de 5 dB en la curva de ruido de la componente vertical a partir de los 8 segundos; mientras que en las componentes horizontales las curvas de estos mismos meses se encuentran apenas por encima del resto de las curvas. Esto podría deberse principalmente a variaciones de la presión atmosférica (De Angelis & Bodin, 2012).

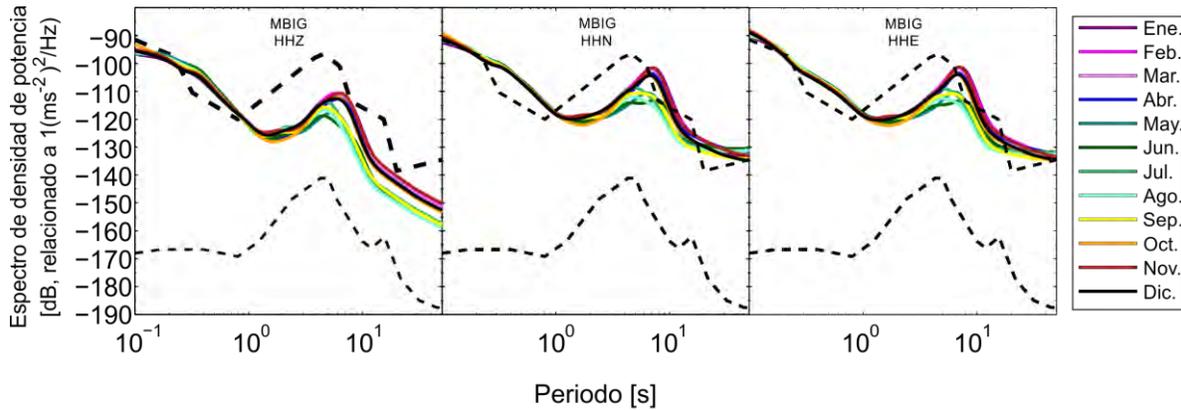


Figura 3.13 Curvas de ruido de la estación MBIG del año 2016.

MGIG (Malinantepec, Guerrero)

La estación MGIG se encuentra a 200 metros de la carretera Tlapa-Marquelia, asimismo se ubica a una corta distancia de la estación algunos edificios. Esta estación comenzó a operar desde mediados del año 2016; sin embargo, sólo se cuenta con datos continuos de marzo a mayo de 2017. Se observan, en la Figura 3.14, las curvas de ruido para las tres componentes de la estación MGIG, donde se puede observar que a partir de 15 segundos de periodo, la curva de ruido está por arriba del NHNM. Este efecto se puede deber a que la estación está configurada para almacenar los datos con un menor muestreo.

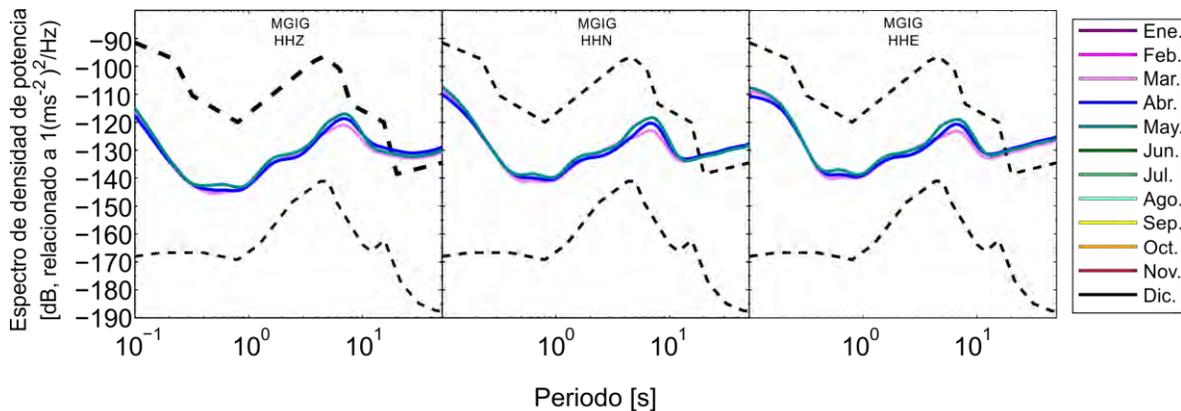


Figura 3.14 Curva de ruido de la estación MGIG del año 2016

MOIG (Morelia, Michoacán)

Se observa que en el mes de diciembre (curva negra), la curva de la estación MOIG (Figura 3.15) tiene un comportamiento inusual entre 0.1 y 0.4 periodos de segundo; las curvas llegan a estar por arriba de lo habitual hasta por 10 dB. La estación se encuentra en el Campus Morelia de la UNAM y está cercana a la antigua carretera a Pátzcuaro. La anomalía descrita en las curvas de ruido se puede deber a que a finales de ese año se realizó la construcción de un nuevo edificio cercano a la estación.

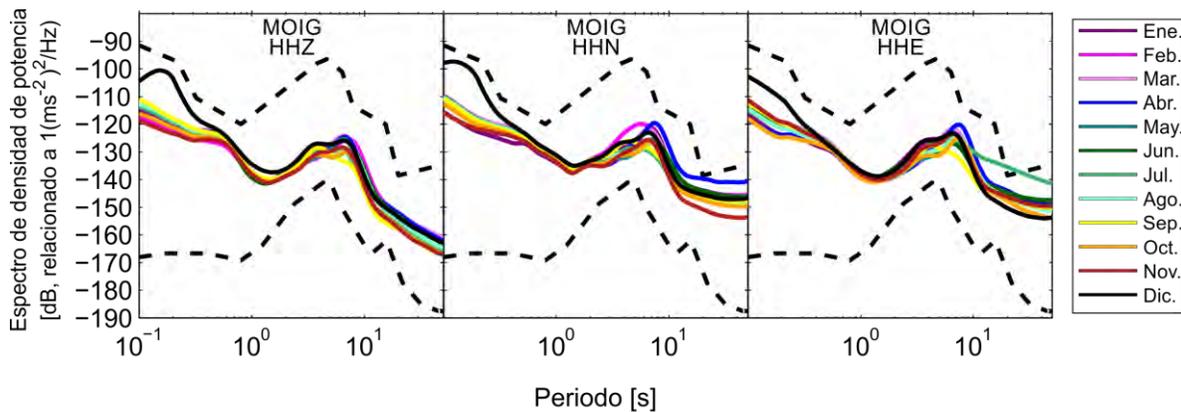


Figura 3.15 Curvas de ruido de la estación MOIG del año 2016.

MYIG (Mérida, Yucatán)

La estación MYIG (Figura 3.16) muestra una diferencia significativa en la tendencia de la curva de ruido entre las componentes horizontales y la vertical. Se observa que de 0.1 a 1 segundos de periodo, las curvas de ruido se encuentran más cercanas del NHMN. Estos efectos se pueden atribuir al ruido cultural que se presenta a los alrededores de la estación, ya que ésta se encuentra instalada en el cementerio de la ciudad. Además, la estación es prácticamente parte del centro de la ciudad.

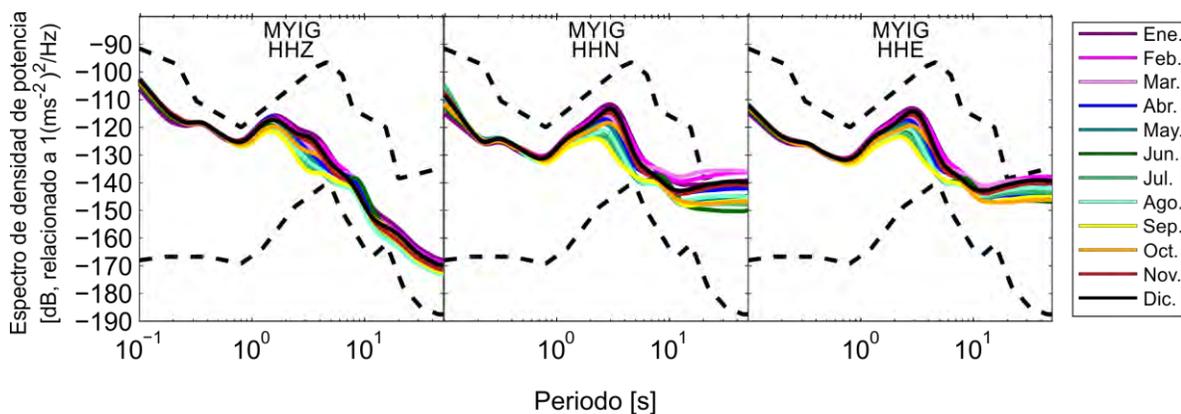


Figura 3.16 Curvas de ruido de la estación MYIG del año 2016.

OXIG (Oaxaca, Oaxaca)

Se observa que para las tres componentes, la curva de ruido de la estación OXIG (Figura 3.17), entre el rango de 0.1 y 0.5 segundos de periodo, está cercana del NHMN. En la componente vertical se observa un pequeño escalón entre 0.2 y 0.4 segundos de periodo. Esto posiblemente sea efecto de contribuciones de ruido cultural.

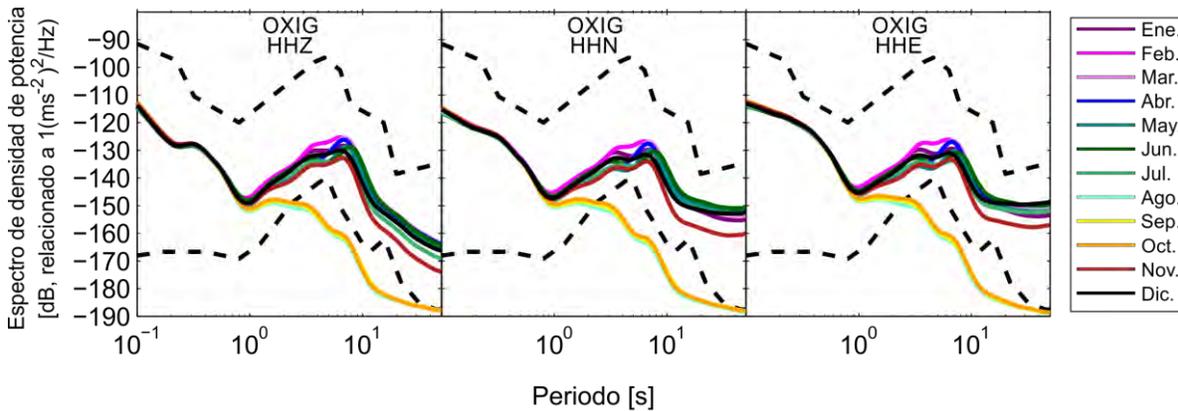


Figura 3.17 Curvas de ruido de la estación OXIG del año 2016.

PZIG (Pozo, Ciudad de México)

Las curvas de ruido de la estación PZIG (Figura 3.18), entre 0.2 y 1 segundos de periodo, sobrepasan el NHNM. El motivo es el mismo que el de la estación CUIG, dado que se encuentran alojadas en el mismo sitio, a 20 metros de profundidad sobre un pilar de concreto.

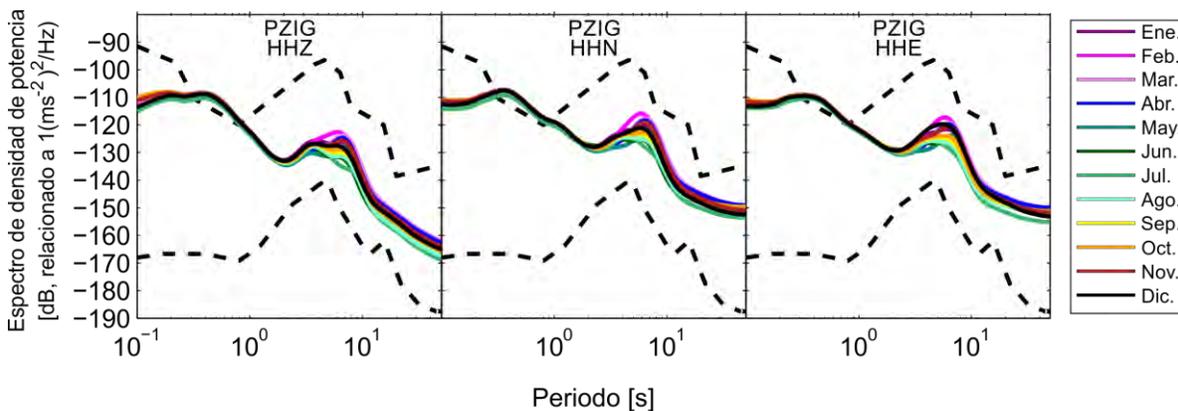


Figura 3.18 Curvas de ruido de la estación PZIG del año 2016.

SCIG (Sabancuy, Campeche)

Se observa que en las tres componentes, las curvas de ruido de la estación SCIG (Figura 3.19), entre el rango de 0.1 y 1 segundos de periodo, tienen un nivel de ruido alto. La

componente vertical tiene una cresta entre 0.3 y 0.5 segundos que se encuentra muy cercana del NHMN. En las componentes horizontales se observa la cresta entre 0.8 y 2 segundos de periodo y de igual forma, esta cresta está muy cercana del NHHM. Esto se puede atribuir a que la estación se encuentra cercana a la costa y también dentro de la población de Sabancuy, lo cual produce diversas fuentes de ruido.

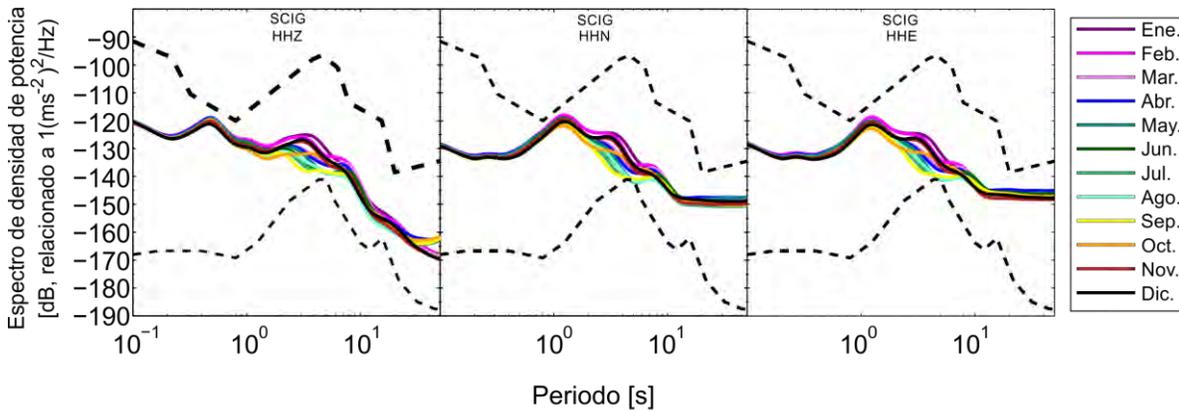


Figura 3.19 Curvas de ruido de la estación SCIG del año 2016.

TGIG (Tuxtla Gutiérrez, Chiapas)

Las curvas de ruido de la estación TGIG (Figura 3.20) muestran, en su componente vertical y en su componente horizontal este-oeste niveles altos de ruido que están cercanos, y algunos meses rebasan, al NHNM. Esto ocurre después de los 20 segundos de periodo y puede deberse a variaciones de la presión atmosférica de la zona (De Angelis & Bodin, 2012).

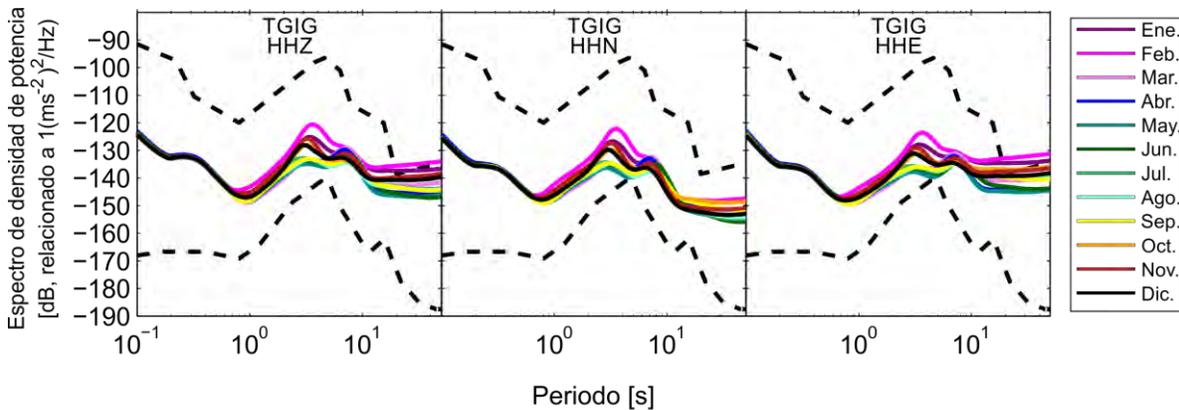


Figura 3.20 Curvas de ruido de la estación TGIG del año 2016.

THIG (Tapachula, Chiapas)

Las curvas de ruido de la estación THIG (Figura 3.21) muestran, en sus tres componentes entre 0.1 a 1 segundos de periodo, niveles muy altos que están cercanos al NHHM. Las componentes horizontales sobrepasan el NHHM entre 0.1 y 0.13 segundos de periodo. Esto se puede deber principalmente a contribuciones de ruido cultural debido a que se encuentra la estación dentro de la ciudad. También se observa una cresta muy energética entre 2 y 4 segundos de periodo. En los meses de enero y febrero (curva violeta y magenta respectivamente) es cuando es más energética y sobrepasa el NHHM en la componente vertical. En las horizontales, sólo la curva del mes de febrero sobrepasa la NHHM. Esto se puede deber principalmente al ruido producido por vientos (Leckler et al., 2015).

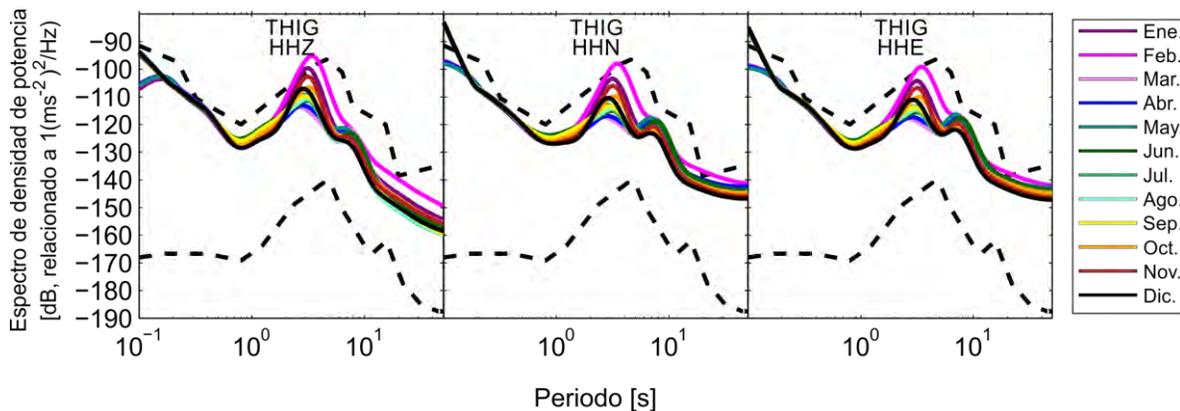


Figura 3.21 Curvas de ruido de la estación THIG del año 2016.

TJIG (Tijuana, Baja California)

Las curvas de ruido de las componentes horizontales de la estación TJIG (Figura 3.22) están cerca y algunos meses sobrepasan el NHHM a partir de los 20 segundos de periodo. Esto se debe principalmente a variaciones de la presión atmosférica (De Angelis & Bodin, 2012).

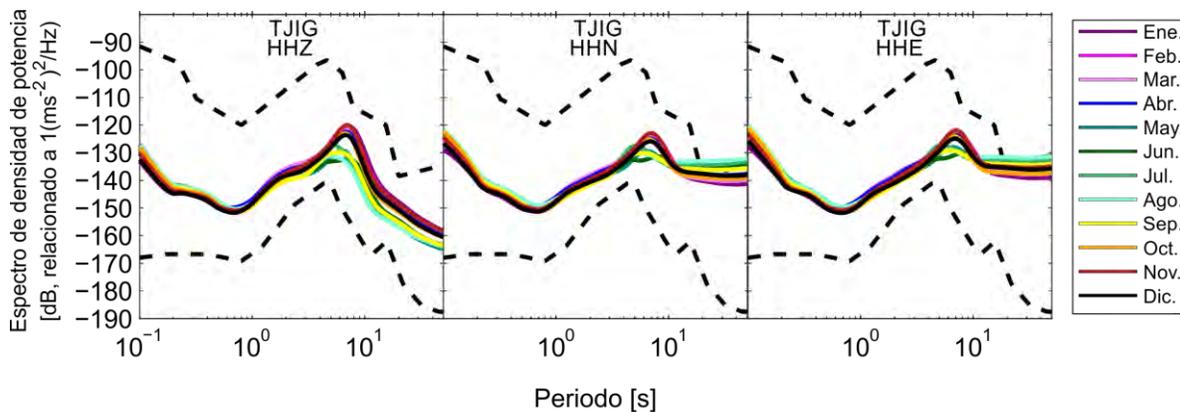


Figura 3.22 Curvas de ruido de la estación TJIG del año 2016.

TPIG (Tehuacán, Puebla)

Se observa, en las curvas de ruido de la estación TPIG (Figura 3.23), una cresta entre 0.2 y 0.4 segundos de periodo. Esto puede deberse a que la estación cuenta con diversas fuentes de ruido cultural, ya que la estación está dentro del poblado de Tehuacán, Puebla.

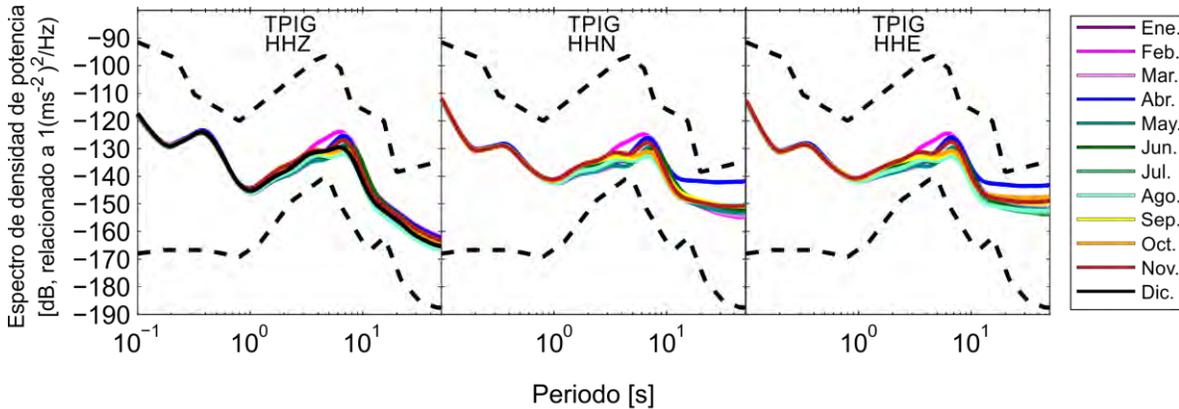


Figura 3.23 Curvas de ruido de la estación TPIG del año 2016.

TSIG (Topolobampo, Sinaloa)

Las curvas de ruido de las componentes horizontales de la estación TSIG (Figura 3.24), a partir de los 20 segundos de periodo, se encuentran sobre el límite del NHHM, inclusive la componente este-oeste llega a rebasarlo en periodos mayores de 30 segundos. Estas características de las curvas horizontales se deben principalmente a variaciones de la presión atmosférica que contribuye con ruido a la señal recibida por la estación (De Angelis & Bodin, 2012).

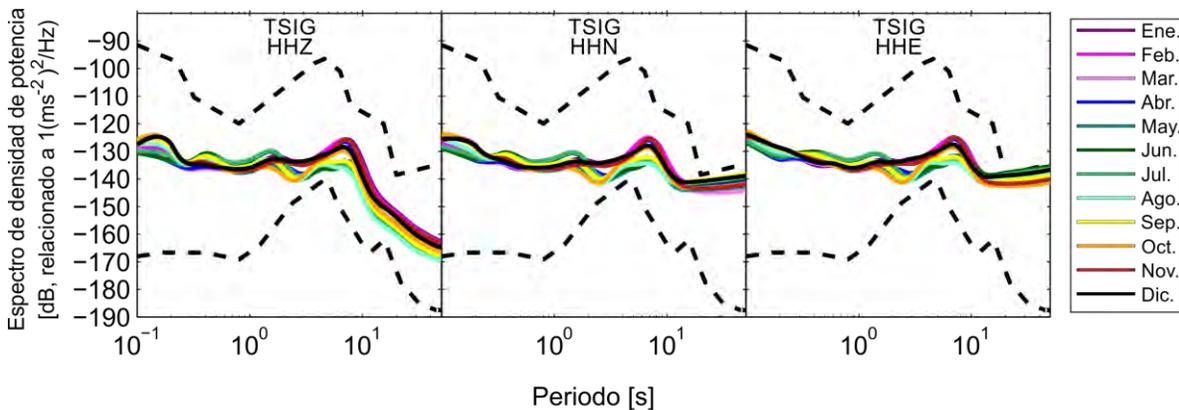


Figura 3.24 Curvas de ruido de la estación TSIG del año 2016.

TUIG (Tuzandépetl, Veracruz)

La estación TUIG muestra en sus curvas de ruido ser una estación muy ruidosa (Figura 3.25). Entre 0.1 y 0.2 segundos, las curvas de ruido de las componentes horizontales sobrepasan el límite de la NHNM hasta por más de 10 decibeles. De 0.3 a 0.8 segundos de periodo, la curva de ruido está sobre el límite de la HNMN. El ruido de la componente vertical se muestra menos energético en comparación con las horizontales, ya que se mantiene por debajo del NHNM entre 0.1 a 0.8 segundos de periodo. Esta contribución de ruido es producida en su mayoría por infraestructura de Petroleros Mexicanos (PEMEX) donde se aloja la estación. Asimismo se observa que para periodos de 15 a 50 segundos, las curvas de ruido de las componentes horizontales sobrepasan el límite de la HNMN. Éstas también sobrepasan el NHNM a partir de los 20 segundos de periodo. Las causas de este comportamiento pueden deberse a las variaciones de la presión atmosférica (De Angelis & Bodin, 2012).

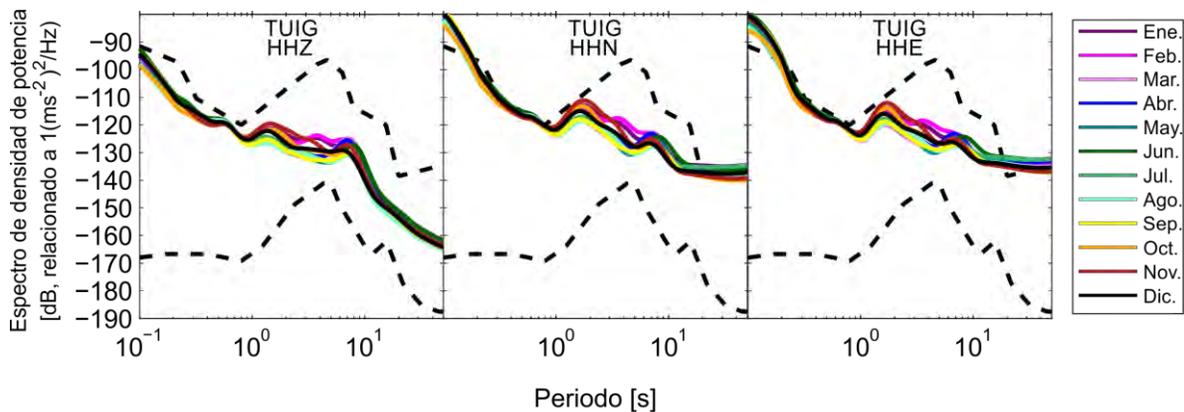


Figura 3.25 Curvas de ruido de la estación TUIG del año 2016.

TXIG (Tlaxiaco, Oaxaca)

La curva de ruido de la componente horizontal este-oeste (Figura 3.26) de la estación TXIG muestra valores altos en sus niveles de ruido que sobrepasan el HNMN a partir de los 15 segundos de periodo y para la mayor parte del año. Esto se debe principalmente a variaciones de la presión atmosférica que afecta principalmente en este caso a esta componente (De Angelis & Bodin, 2012).

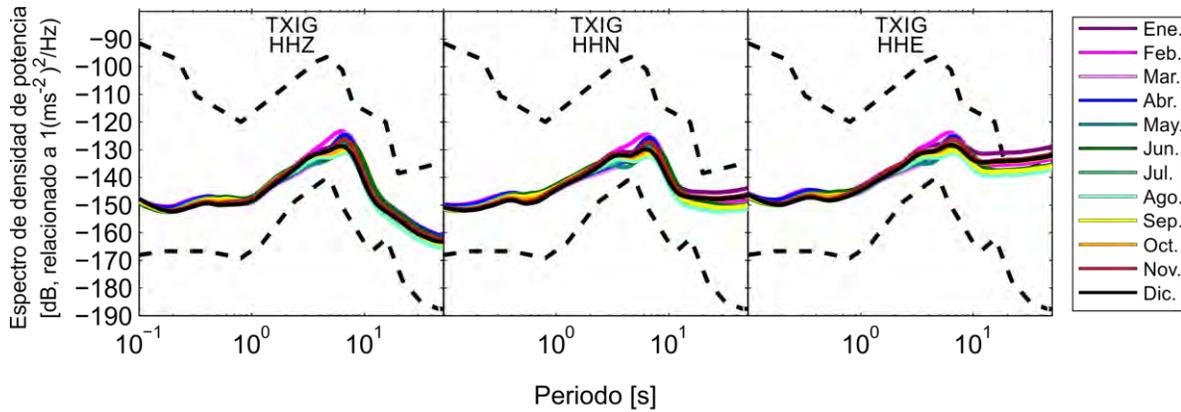


Figura 3.26 Curvas de ruido de la estación TXIG del año 2016.

H06E (Pista Aérea, Islas Socorro)

La estación H06E (Figura 3.27) presenta, en las tres componentes, un nivel alto de ruido que se encuentra cercano del HNMN en periodos mayores de 1 segundo. Las curvas de ruido de las componentes horizontales sobrepasan el límite del HNMN entre 0.6 y 1 y entre 20 y 30 segundos de periodo. Este comportamiento se puede atribuir a que la estación se encuentra en una planicie en donde está muy a expensas del viento y golpeteo del mar en las orillas de la isla en la que se encuentra.

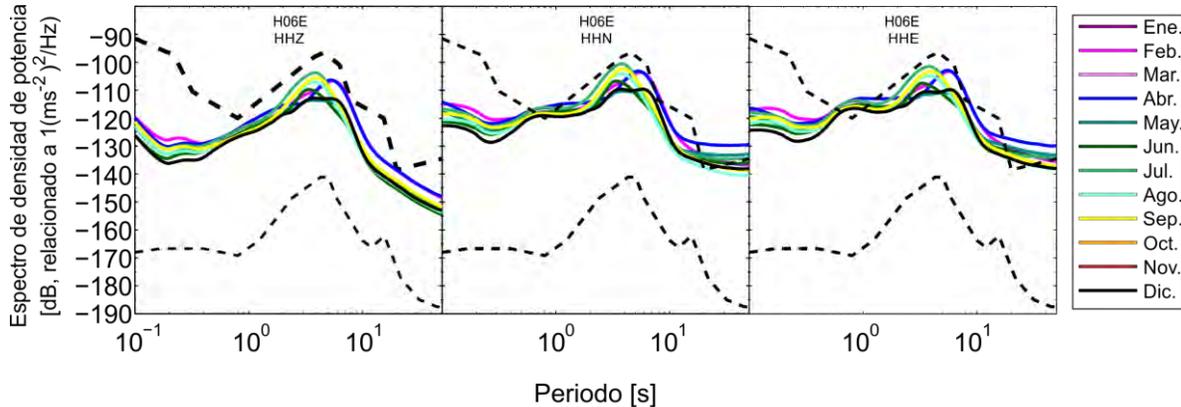


Figura 3.27 Curvas de ruido de la estación H06E del año 2016.

H06N (Playa Norte, Islas Socorro)

En la Figura 3.28, se observa que las curvas de ruido de la estación H06N, en sus componentes horizontales, entre 20 y 50 segundos de periodo, sobrepasan el límite del HNMN. En general, las tres componentes de las curvas de ruido se encuentran cerca del HNMN. Esto se atribuye a que la estación se encuentra a corta distancia del golpeteo de las olas del mar, de las corrientes de aire y de otras fuentes de ruido característicos de las islas.

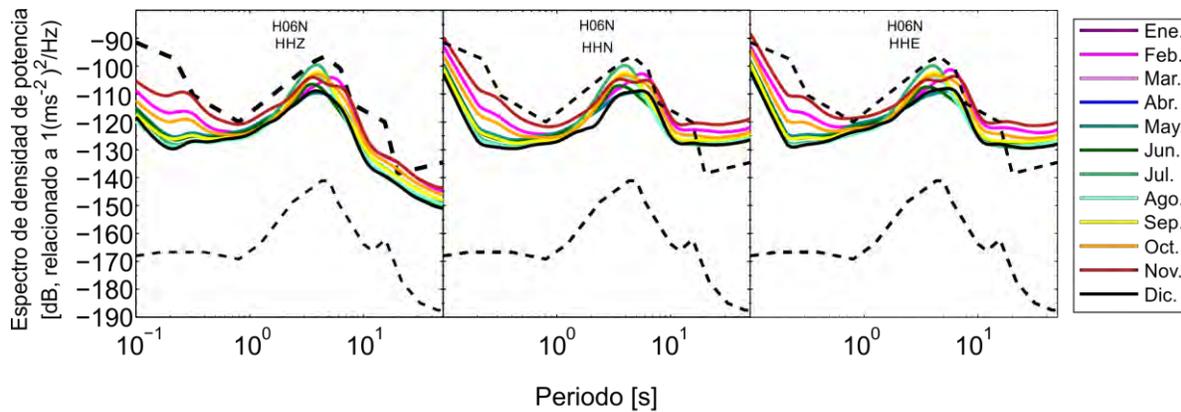


Figura 3.28 Curvas de ruido de la estación H06N del año 2016.

3.2.1.1.1 Relación de estaciones con niveles altos de ruido y las fuentes de ruido causantes.

Analizando periodos mayores de 10 segundos, se observaron altos niveles de ruido en 14 estaciones: ACIG, CSIG, DAIG, MBIG, MGIG, MYIG, TGIG, TJIG, TSIG, TUIG, TXIG, H06E y H06N. En ellas se aprecia que las curvas de ruido se encontraban cercanas o sobrepasaban el NHNM, específicamente en sus componentes horizontales.

Las estaciones ACIG, CSIG, DAIG, MGIG, MYIG, TSIG y TUIG son de construcción sencilla, es decir, la caseta que resguarda los equipos no cuenta con una doble pared. Esto permite que las variaciones de la presión atmosférica se perciban con mayor facilidad en el sensor, lo cual provoca los periodos largos energéticos que se observan en las curvas de ruido de las componentes verticales.

La estación MAIG se encuentra en la costa (Figura 3.29), por lo que se observan periodos largos muy energéticos en las curvas de ruido causados por el ruido ambiental que provocan los vientos y el oleaje del lugar.

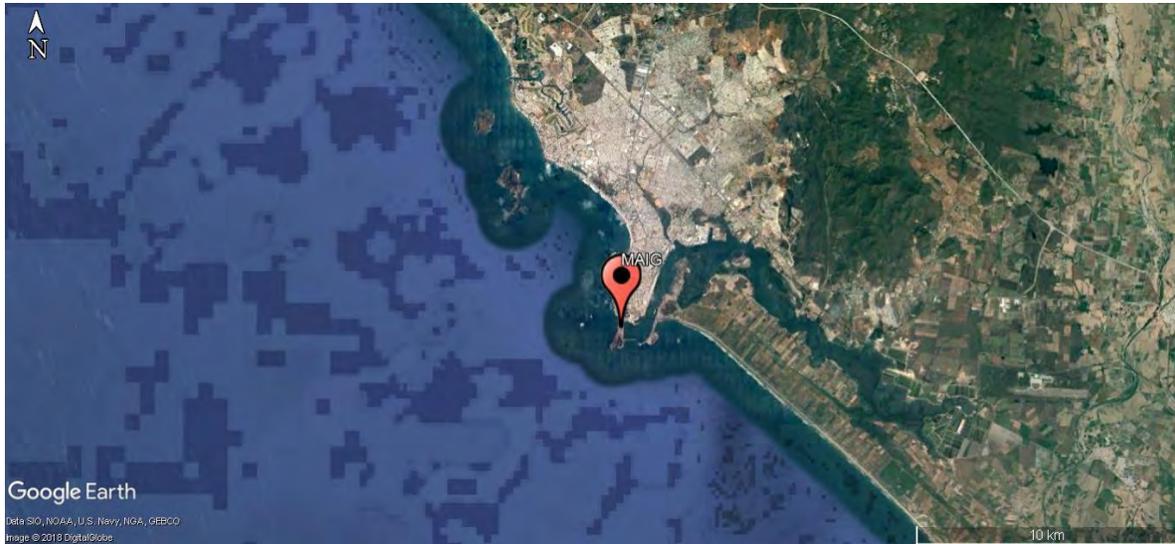


Figura 3.29 Ubicación geográfica de la estación Mazatán, MAIG (Google Earth, 2017).

Las estaciones H06N, H06E y H06S que se ubican en islas Socorro (Figura 3.30), a pesar de estar resguardadas en una bóveda a profundidad, las fuentes de ruido ambiental provocan que las curvas de ruido presenten niveles altos principalmente en periodos largos. La estación H06S no muestra este comportamiento debido a que el sensor no registra periodos largos, ya que cuenta con un sensor de periodo corto (GS-13).



Figura 3.30 Ubicación geográfica de las estaciones de Islas Socorro, H06N, H06E y H06S (Google Earth, 2017).

En estas estaciones con altos niveles de ruido en periodos largos, así como en las estaciones MBIG, TGIG, TJIG y TXIG cuyas curvas de ruido rebasan el modelo de ruido elevado en periodos mayores de los 10 segundos y que no son de construcción sencilla, es fundamental

el mitigar la influencia de las fuentes de ruido debido a variaciones de la presión atmosférica, por esto es recomendable buscar aislar las paredes de las casetas con poliestireno (foamular), el cual sirve como un aislante de la humedad y cambios de temperatura.

Debido a que estos procedimientos son costosos, sería recomendable implementarlo en las estaciones con niveles altos de ruido y de ver resultados favorables, evaluar si es indispensable instalar al resto de las estaciones que sean de instalación sencilla. Éstas son BCIG, CJIG, JRQG, LVIG, MEIG, NZIG, OXIG, PPIG, SPIG, SSIG, TAIG, THIG, TPIG, YAIG. Según sea el caso, aislar las paredes por no ser de doble pared o el techo por tener techo rompe aguas.

Por otro lado, en el análisis se observaron también que otras cinco estaciones sobrepasaron el NHNM de Peterson (1993) en periodos menores que 1 segundo, donde el ruido cultural es la mayor fuente de contribución: CUIG, MBIG, PZIG, THIG y TUIG.

Las estaciones de CUIG y PZIG, como se explicó en la Sección 3.2.1.1, se encuentran en la zona de Ciudad Universitaria (C.U.), en la Ciudad de México, y son afectadas por las mismas fuentes de ruido (Figura 3.31). Este lugar se encuentra constantemente con un gran número de gente durante la mayor parte del día y en un terreno extenso. También existe un flujo continuo de automóviles y maquinarias que constantemente se encuentran funcionando. Por otro lado, alrededor de la zona de C.U. se encuentran avenidas principales que constantemente tienen flujo de automóviles. Además, cerca de C.U. se encuentran dos estaciones de la línea 3 del metro. Asimismo existen plazas y locales de servicios varios. Aunado a esto, se encuentran muchos edificios también muy cercanos a la zona donde se hospedan principalmente estudiantes y por lo cual están continuamente habitados. Todos estos factores producen el ruido tan elevado en periodos menores que 1 segundo, incluso provoca que la curva de ruido sobrepase el HNMN propuesto por Peterson (1993).

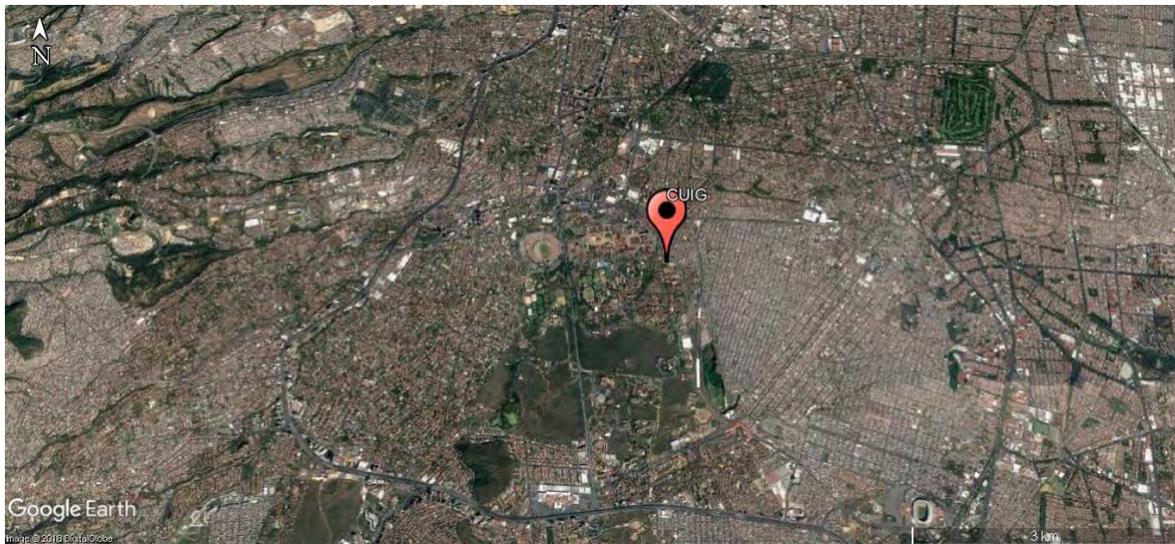


Figura 3.31 Ubicación geográfica de las estaciones en Ciudad Universitaria, CUIG y PZIG (Google Earth, 2017).

La estación THIG se encuentra dentro del planetario de Tapachula, en Chiapas (Figura 3.32). Dicho planetario se encuentra cercano a una avenida principal y se ve rodeado por varios edificios. Esto podría contribuir al alto nivel de ruido que se ve presente en las curvas de las tres componentes, y que las curvas de ruido de las componentes horizontales sobrepasen el NHNM de Peterson (1993) en periodos menores que 0.2 segundos.

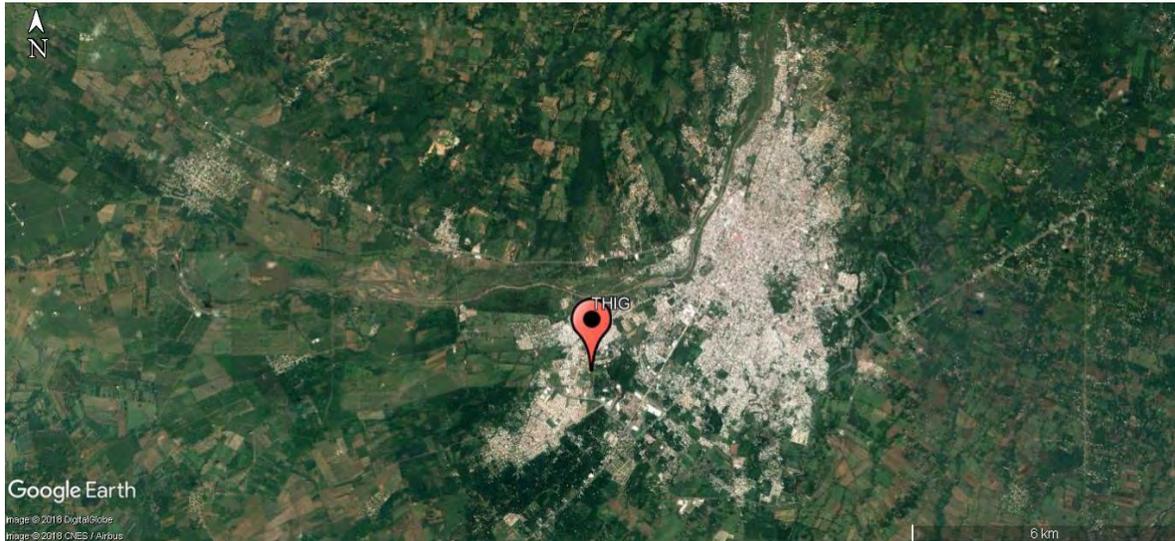


Figura 3.32 Ubicación geográfica de la estación de Tapachula, THIG (Google Earth, 2017).

La estación TUIG se encuentra dentro de la infraestructura de las instalaciones de PEMEX (Figura 3.33), donde las fuentes de ruido culturales son constantes e intensas debido al uso de maquinarias y los procesos que realizan, así como también por el flujo de gente y automóviles. Esto provoca que la curva de ruido sea energética en todos los periodos analizados e inclusive sobrepase el NHNM de Peterson (1993) en periodos menores de 0.2 segundos en las curvas de componentes horizontales.

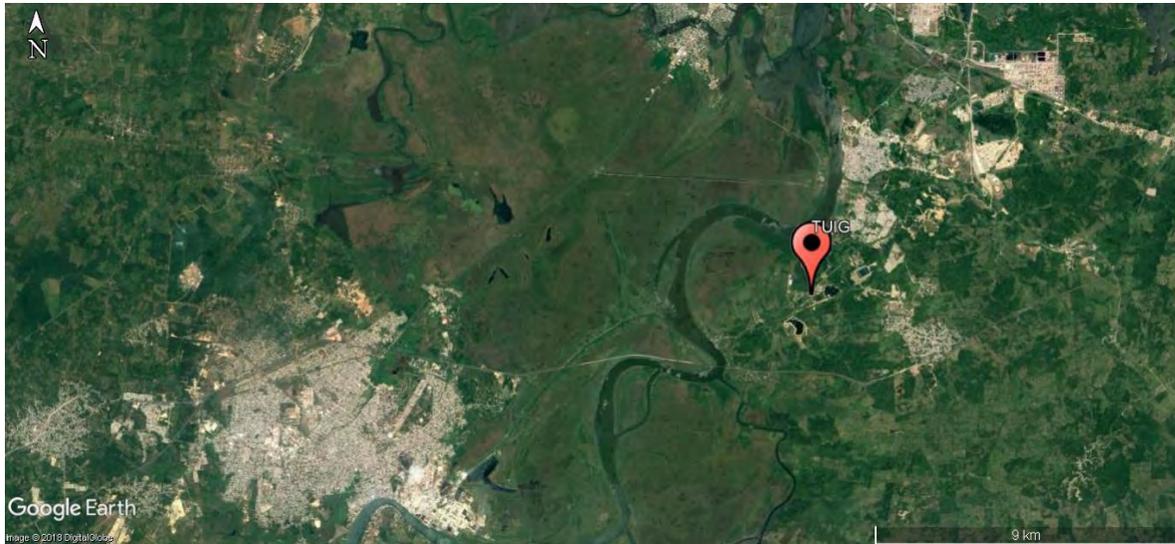


Figura 3.33 Ubicación geográfica de la estación de Tuzandepetl, TUIG (Google Earth, 2017).

La estación MBIG se encuentra muy cercana a un campo geotérmico, el cual presenta variaciones locales de la presión atmosférica (Figura 3.34). A pesar de que esta estación es de construcción de doble pared, el ruido producido por el campo y que se encuentra tan cercano, provoca que las curvas de ruido se vean afectadas. Por otro lado, la estación también se encuentra cercana a la infraestructura de la Universidad Autónoma de Baja California lo cual aporta también fuentes de ruido de alta frecuencia, principalmente. Éstas, en conjunto, provocan que la curva de ruido se observe muy energética en el rango analizado de periodos.

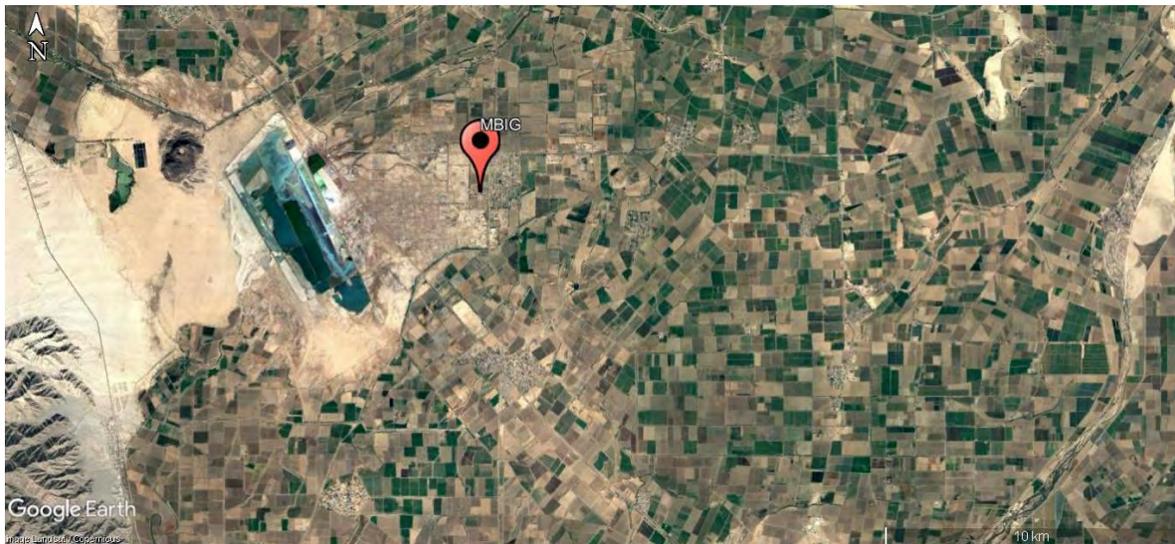


Figura 3.34 Ubicación geográfica de la estación de Mexicali, MBIG (Google Earth, 2017).

Las estaciones JRQG (Figura 3.11), OXIG (Figura 3.17), TPIG (Figura 3.23), SCIG (Figura 3.19) y MYIG (Figura 3.16) muestran niveles altos de ruido en periodos menores de 1 segundo, aunque no rebasan el HNMN, por lo que se recomienda estar más pendiente en los futuros niveles de ruido que presenten estas estaciones en dichos periodos, principalmente si se llegara a presentar construcciones cercanas a la estación, ya que esto podría producir aumentos en sus niveles de ruido.

3.2.1.2 Estaciones con problemas instrumentales.

El equipo utilizado para el registro de la sismicidad (sensores y registradores) pueden presentar en ocasiones problemas instrumentales. Los más comunes son el desvío de sus masas y las pérdidas de información debido a complicaciones en la telemetría. Estas complicaciones normalmente tienen poca probabilidad de ocurrir (McNamara & Buland, 2004). Estos problemas instrumentales al ser más frecuentes de lo esperado, afectarán la tendencia de la curva de ruido de una estación. Si esto se observa, es necesario evaluar si estos problemas fueron solamente momentáneos, pues esto puede dar una pauta para mejorar el desempeño en dicha estación.

BCIG (La Boquilla, Chihuahua)

La estación BCIG muestra sólo cinco curvas para el año 2016. Esto es debido a problemas con la adquisición de datos por parte de la estación. Dado que se localiza dentro de la presa de “La Boquilla” y donde ha tenido problemas para su correcto funcionamiento. La estación no ha podido transmitir de forma continua y ha presentado pérdida de datos, lo cual no permite analizar los meses faltantes. Por otro lado, la estación tuvo problemas en el centrado de masas en la componente horizontal este-oeste. Este problema se acentuó en los meses de octubre y diciembre (curvas naranja y negro, respectivamente), lo que se puede observar en la Figura 3.35. En general, se puede apreciar cómo la tendencia de la componente este-oeste difiere mucho de la componente también horizontal norte-sur. Para el mes de septiembre (curva amarilla) del mismo año, se observa que en la componente vertical la recepción de datos no fue de forma apropiada, ya que la curva pierde toda tendencia con respecto al resto y muestra un ruido mucho menor.

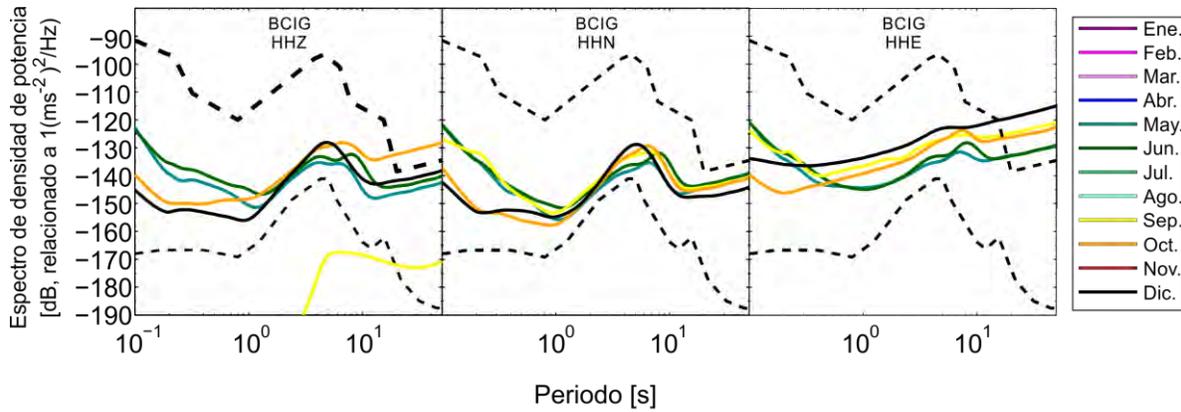


Figura 3.35 Curvas de ruido de la estación BCIG del año 2016.

GTIG (Gómez Farías, Tamaulipas)

La curva de ruido de la componente horizontal este-oeste, de la estación GTIG (Figura 3.36) muestra un problema instrumental en los meses de septiembre y octubre (curvas amarilla y naranja, respectivamente), esto posiblemente se debe a un problema con las masas del sensor en esa componente.

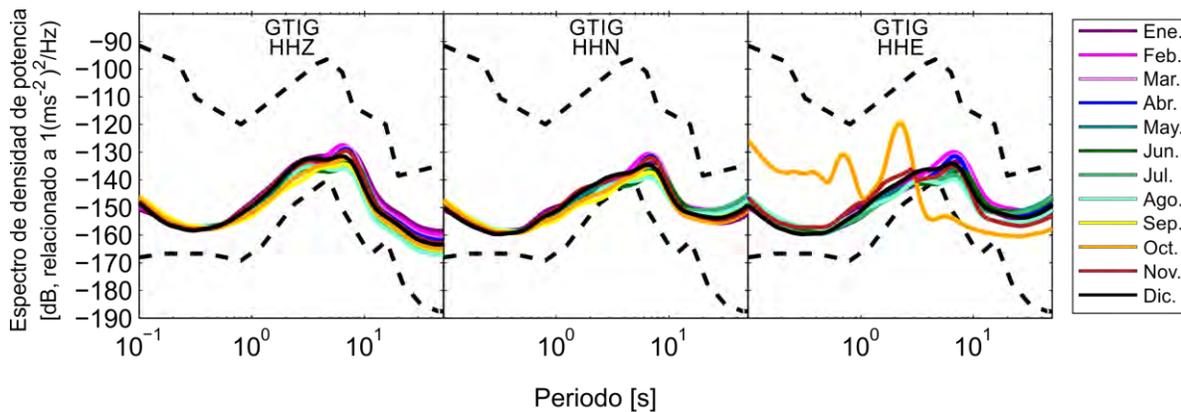


Figura 3.36 Curvas de ruido de la estación GTIG del año 2016.

HUIG (Huatulco, Oaxaca)

La curva de ruido de la componente horizontal este-oeste, de la estación HUIG (Figura 3.37), muestra pérdida de la tendencia de la curva en comparación con las componentes restantes. Estos comportamientos ocurren en los meses de enero, abril, julio, noviembre y diciembre.

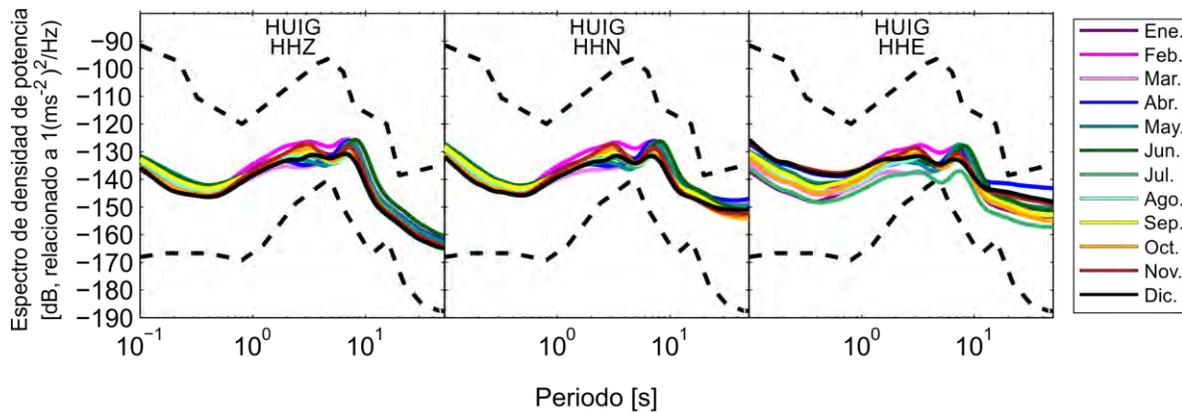


Figura 3.37 Curvas de ruido de la estación HUIG del año 2016.

LNIG (Linares, Nuevo León)

En las curvas de ruido de la estación LNIG (Figura 3.38), se observan niveles varios de ruido en las componentes horizontales en todo el año a partir de los 10 segundos de periodo. Este comportamiento no es común en las curvas de ruido de esta estación, ya que a partir del análisis histórico presentado en el Anexo I, se puede observar que las curvas de ruido de los años anteriores sí conservan niveles adecuados en todo el rango de periodo analizado, inclusive después de los 10 segundos de periodo.

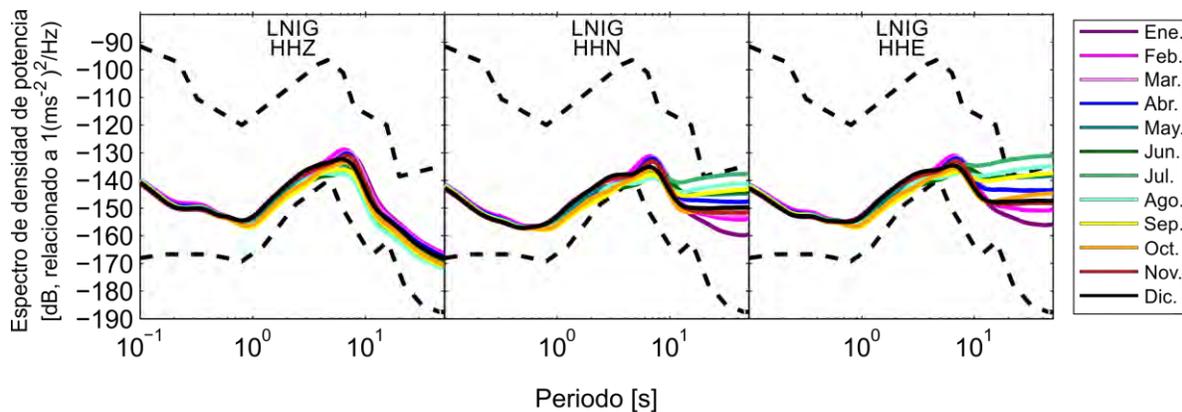


Figura 3.38 Curvas de ruido de la estación LNIG del año 2016.

MEIG (Mezcala, Guerrero)

Las curvas de ruido de la estación MEIG (Figura 3.39) muestran niveles muy altos en sus tres componentes a partir de los 10 segundos de periodo. Este problema se presenta de marzo a mayo (curvas, rosa, azul y turquesa), en octubre y noviembre (naranja y roja, respectivamente). Este comportamiento no es algo habitual en las curvas de la estación, ya que según lo que se observa en el análisis histórico del Anexo I, las curvas de ruido no muestran en ningún otro año ser tan energéticas como las del año 2016, las cuales inclusive sobrepasan el NHHM.

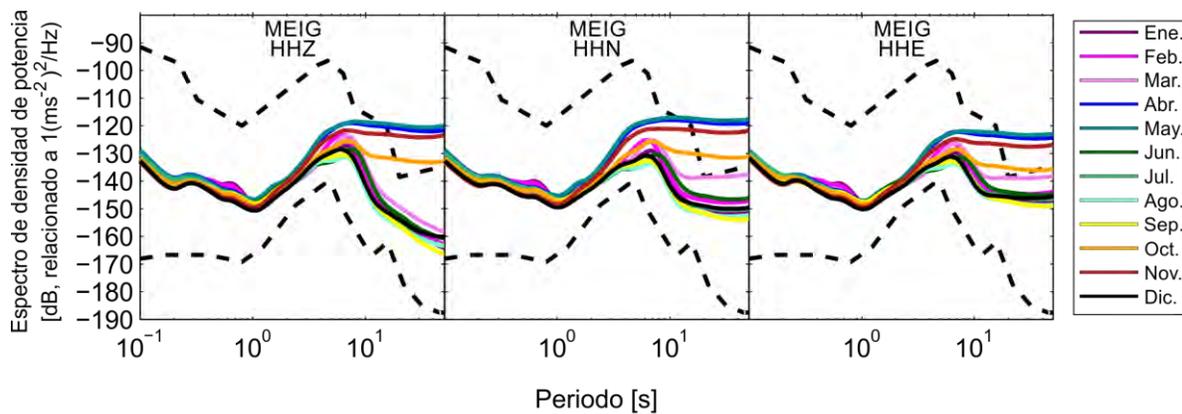


Figura 3.39 Curvas de ruido de la estación MEIG del año 2016.

MNIG (Monterrey, Nuevo León)

En las curvas de ruido de la estación MNIG (Figura 3.30) se observa que ésta tuvo problemas instrumentales durante este año. En el mes de enero no se obtuvieron datos. Las curvas de ruido de la componente vertical y de la componente horizontal norte-sur muestran una anomalía en la curva de ruido entre 0.9 y 10 segundos de periodo en el mes de diciembre (curva negra). La componente horizontal este-oeste presenta problemas instrumentales en febrero, marzo, junio, julio (curvas magenta, rosa, verde, olivo, respectivamente) y de octubre a diciembre (curvas naranja, roja y negra). Estos problemas pueden deberse a problemas con el centrado de masas del sensor.

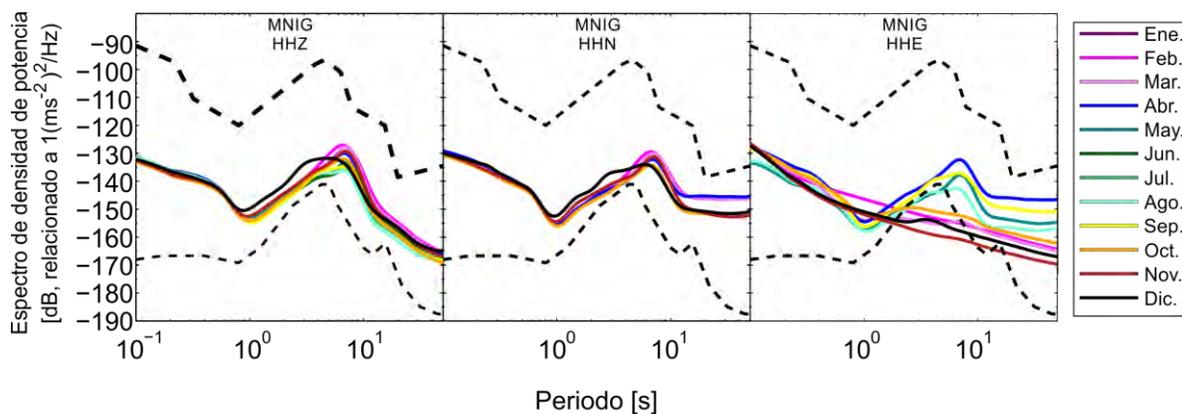


Figura 3.40 Curvas de ruido de la estación MNIG del año 2016.

MOIG (Morelia, Michoacán)

Las curvas de ruido de la componente horizontal este-oeste, de la estación MOIG (Figura 3.15), muestra que hubo problemas instrumentales en el mes de julio (curva olivo).

Asimismo, en la curva de la componente horizontal norte-sur, en los meses de abril y noviembre (curvas azul y roja, respectivamente), se observa que a partir de los 10 segundos de periodo existe una pérdida de tendencia en las curvas de dichos meses. Lo mismo para la curva de la componente horizontal este-oeste en los meses de octubre y diciembre (curvas naranja y negra, respectivamente).

OXIG (Oaxaca, Oaxaca)

En las curvas de ruido de la estación OXIG (Figura 3.17), se observa una pérdida de la tendencia de la curva a partir de 1 segundo de periodo entre los meses de julio a noviembre (curvas olivo, cian, amarillo, naranja y roja). Esto se debe a alguna variación en el funcionamiento instrumental, el cual afectó a la forma en que se registraron los datos.

TGIG (Tuxtla Gutiérrez, Chiapas)

Las curvas de ruido de la componente horizontal norte-sur tienen valores menores de ruido, hasta por 25 dB en comparación con las otras dos componentes. Las curvas de ruido de la componente vertical muestran un comportamiento similar a las curvas de la componente horizontal este-oeste en periodos mayores de 10 segundos de periodo (Figura 3.20), mientras que entre las componentes horizontales no hay coincidencias en los mismos periodos analizados. Este comportamiento no es común, dado que es de esperarse que las curvas horizontales sean más coincidentes entre ellas, en sus niveles de ruido en periodos largos. Es probable que esto se deba a cuestiones del instrumento.

ZIIG (Zihuatanejo, Guerrero)

Las curvas de ruido de la estación ZIIG (Figura 3.41) muestran, para las tres componentes y a lo largo de todo el periodo analizado, la pérdida de la tendencia de la curva en los meses de noviembre y diciembre (curvas roja y negra, respectivamente). Esto es debido a que la estación dejó de transmitir correctamente durante gran parte del mes de noviembre y una parte de inicios de diciembre.

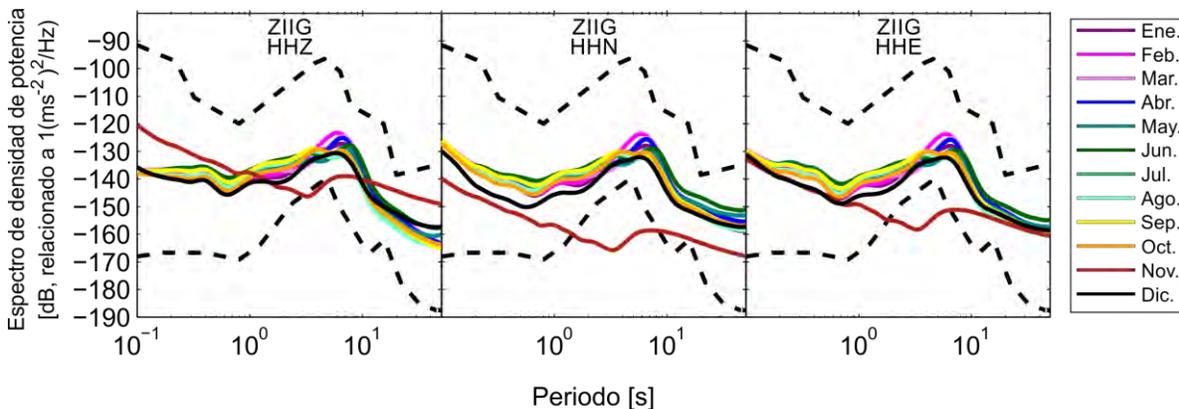


Figura 3.41 Curvas de ruido de la estación ZIIG del año 2016.

H06S (El barquito, Islas Socorro)

Las curvas de ruido de la estación H06S (Figura 3.42) muestran problemas instrumentales en la componente horizontal norte-sur entre los meses de agosto a diciembre (curvas cian, amarilla, naranja, roja y negra). Es posible que se deba a problemas con el centrado de masas de esa componente de ese sensor.

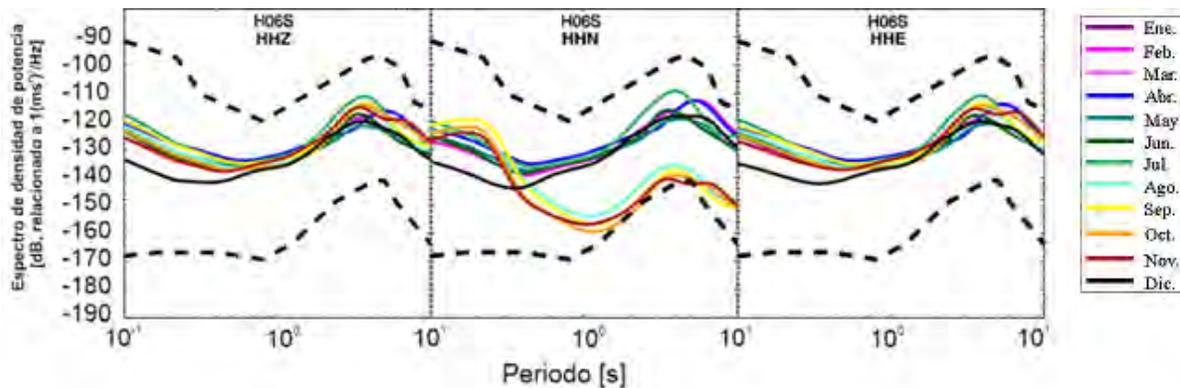


Figura 3.42 Curva de ruido de la estación H06S del año 2016. El sensor es de periodo corto, por lo que sólo se muestra hasta 10 segundos de periodo de las curvas.

3.2.1.3 Estaciones con ruido ambiental asociado a la costa.

Las estaciones cercanas a las costas son afectadas por vientos y oleaje. Esto le da un comportamiento específico a la curva de ruido en periodos menores que 4 segundos (Gimbert & Tsai, 2015). Al contrario de las curvas de las estaciones que se encuentran alejadas de las costas, éstas muestran variaciones en los niveles de ruido mes con mes. Dado esto se eligieron estaciones cercanas a la costa que mostraran estas características y se relacionaron con las que contaban comportamientos similares en sus niveles de ruido y se encontraban cercanas entre sí.

Las estaciones del estado de Chiapas, PCIG (Figura 3.43), CCIG (Figura 3.44), TGIG (Figura 3.45) y THIG (Figura 3.21); así como las estaciones del estado de Oaxaca, CMIG (Figura 3.46), HUIG (Figura 3.47) y PEIG (Figura 3.48), junto con la estación del estado de Veracruz, LVIG (Figura 3.49), tienen un comportamiento similar en las curvas de ruido. Entre 2 y 4 segundos de periodo sobresale un pico, el cual se observa más energético en el mes de febrero (curva magenta). Esto es mucho más claro para las cuatro estaciones del estado de Chiapas y la estación CMIG del estado de Oaxaca. En las curvas de las estaciones restantes se pueden apreciar la existencia del pico pero con menor energía.

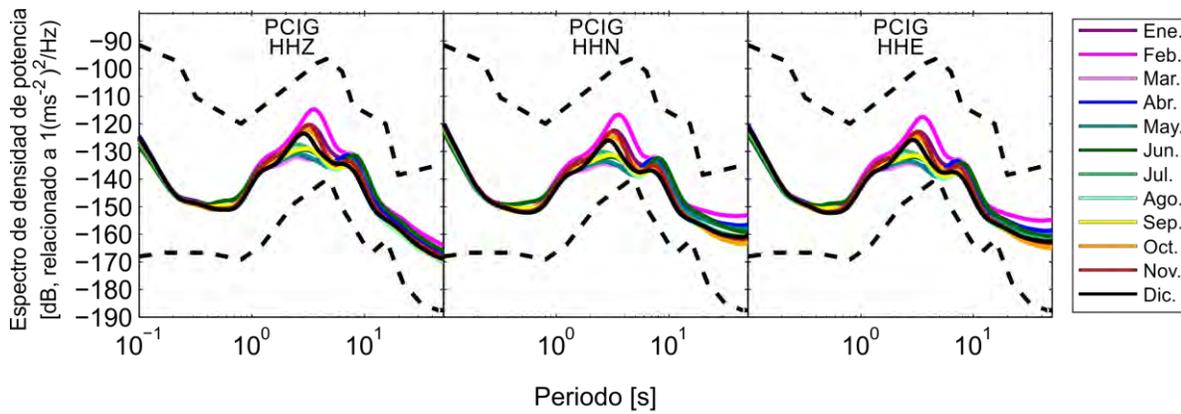


Figura 3.43 Curvas de ruido mensuales del año 2016 de la estación PCIG. Se puede observar un pico energético entre 2 y 4 segundos.

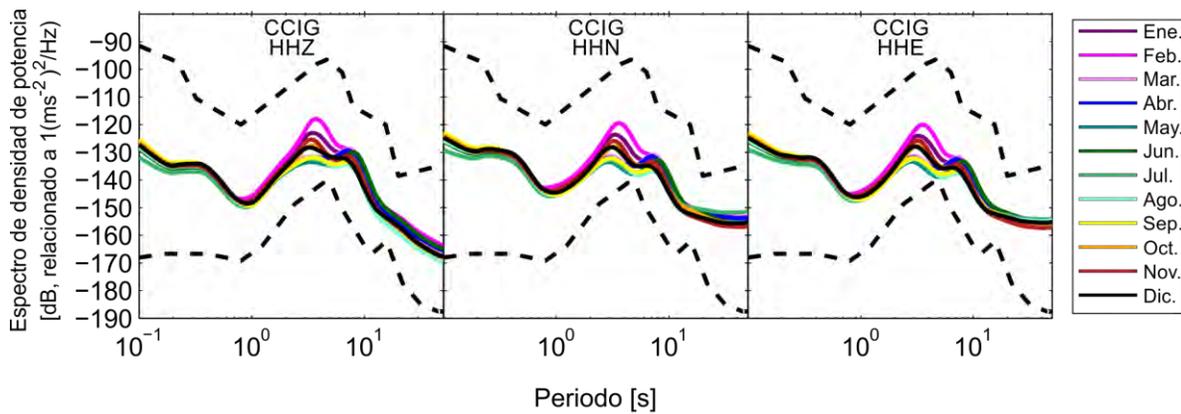


Figura 3.44 Curvas de ruido mensuales del año 2016 de la estación CCIG. Se puede observar un pico energético entre 2 y 4 segundos.

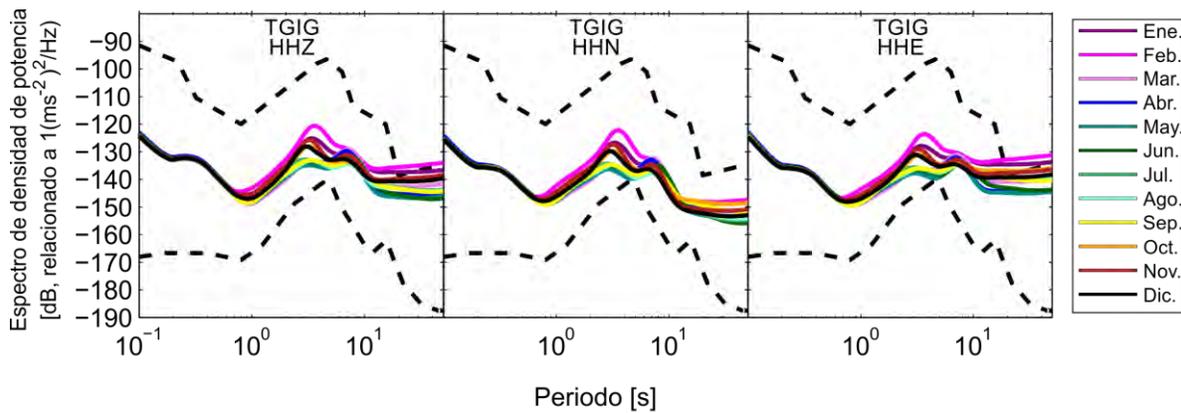


Figura 3.45 Curvas de ruido mensuales del año 2016 de la estación TGIG. Se puede observar un pico energético entre 2 y 4 segundos.

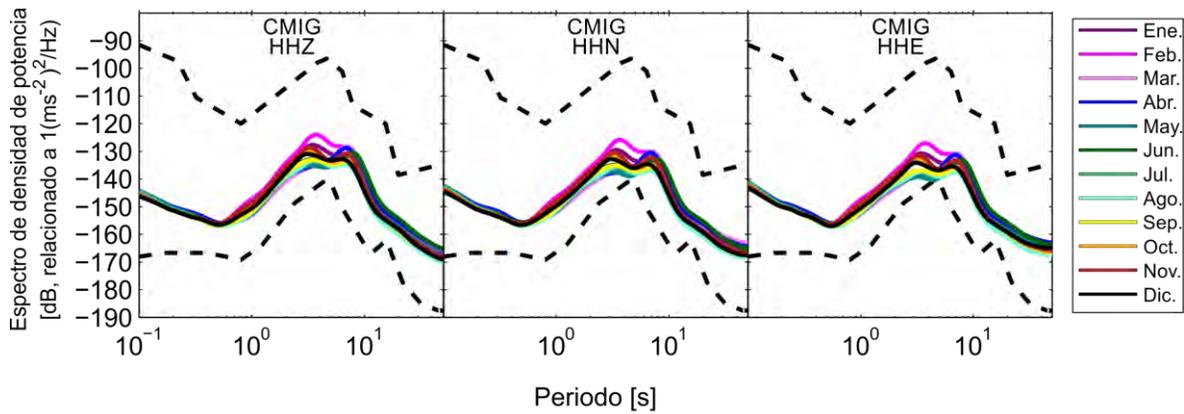


Figura 3.46 Curvas de ruido mensuales del año 2016 de la estación CMIG. Se puede observar un pico entre 2 y 4 segundos.

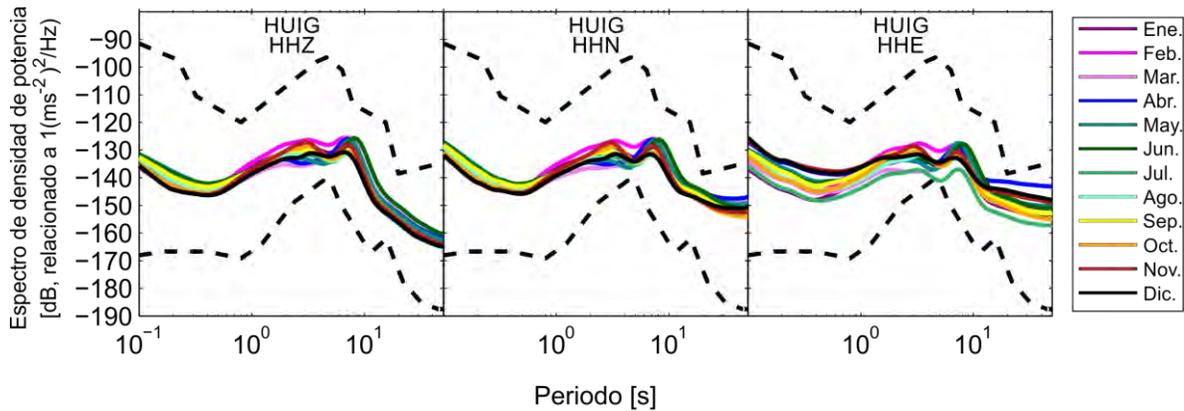


Figura 3.47 Curvas de ruido mensuales del año 2016 de la estación HUIG. Se puede observar un pico entre 2 y 4 segundos.

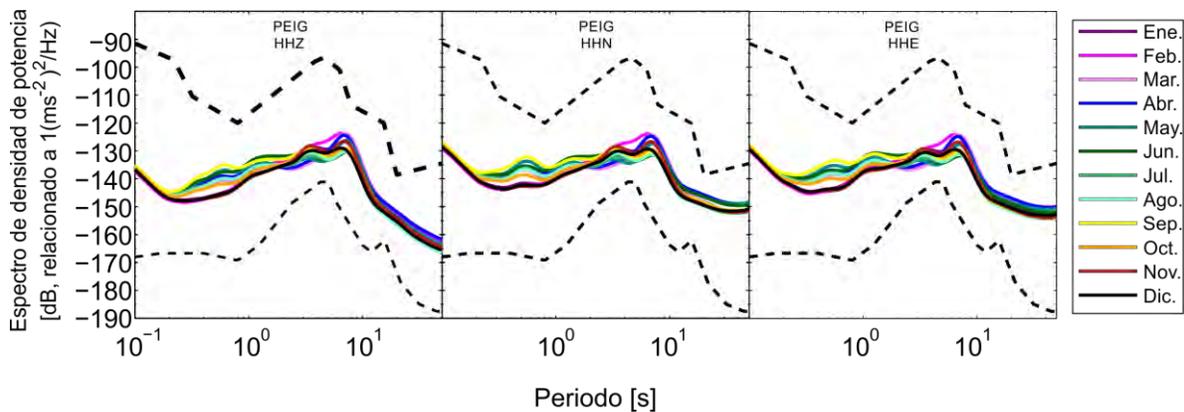


Figura 3.48 Curvas de ruido mensuales del año 2016 de la estación PEIG. Se puede observar un pico entre 2 y 4 segundos.

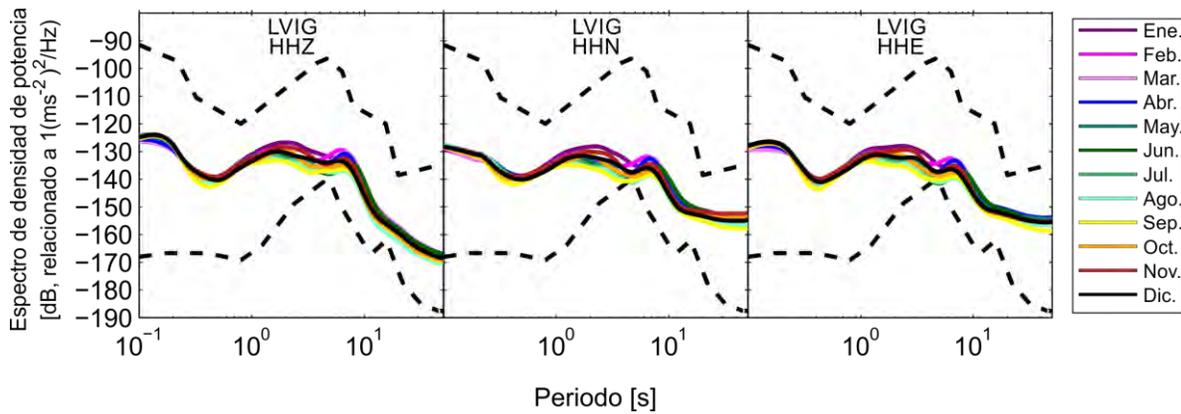


Figura 3.49 Curvas de ruido mensuales del año 2016 de la estación LVIG. Se puede observar un pico entre 2 y 4 segundos.

La estación PNIG (Figura 3.50), en el estado de Oaxaca, las estaciones CRIG (Figura 3.51), DAIG (Figura 3.52), CAIG (Figura 3.53), ZIIG (Figura 3.54), en el estado de Guerrero, la estación MMIG (Figura 3.54), en el estado de Michoacán, y la estación CJIG (Figura 3.55) en el estado de Jalisco, muestran en sus curvas de ruido variaciones en sus niveles, lo cual se observa como pequeñas ondulaciones antes del pico de olas oceánicas de periodo corto ubicado entre 6 y 8 segundos de periodo.

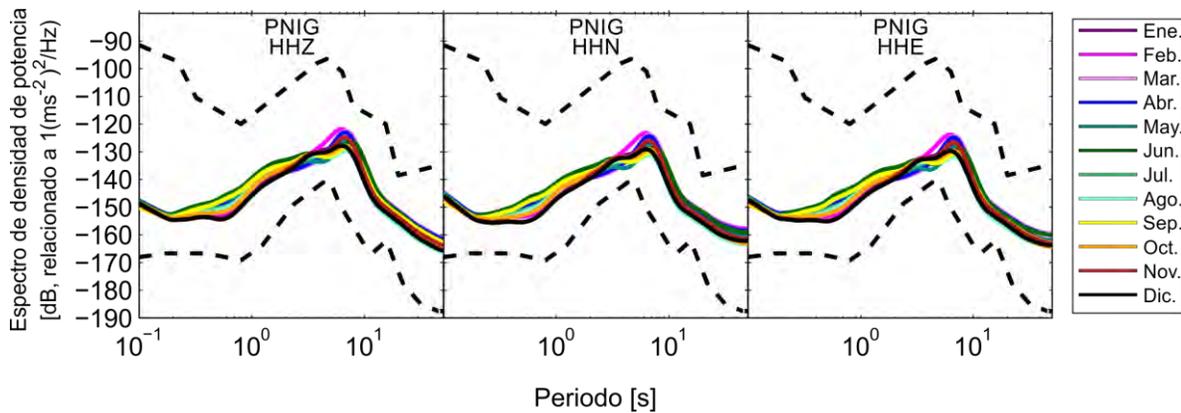


Figura 3.50 Curvas de ruido mensuales del año 2016 de la estación PNIG.

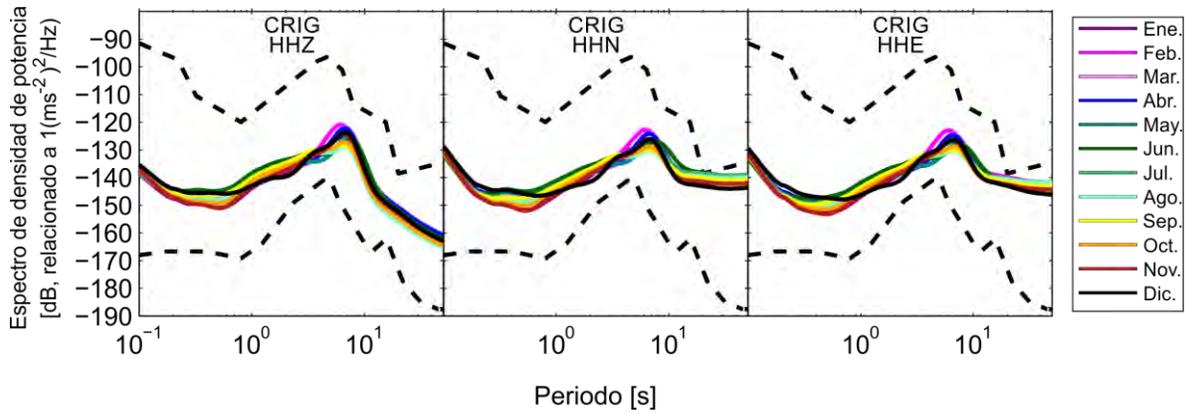


Figura 3.51 Curvas de ruido mensuales del año 2016 de la estación CRIG.

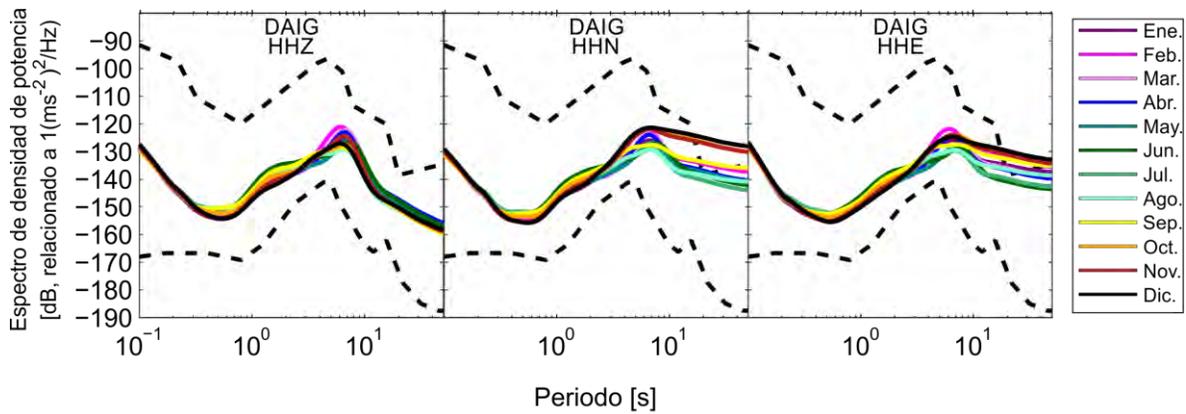


Figura 3.52 Curvas de ruido mensuales del año 2016 de la estación DAIG.

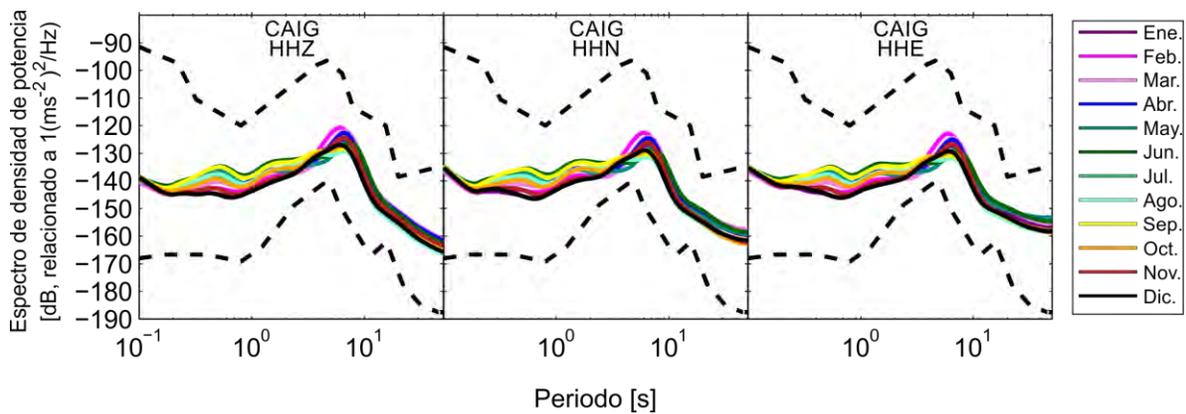


Figura 3.53 Curvas de ruido mensuales del año 2016 de la estación CAIG.

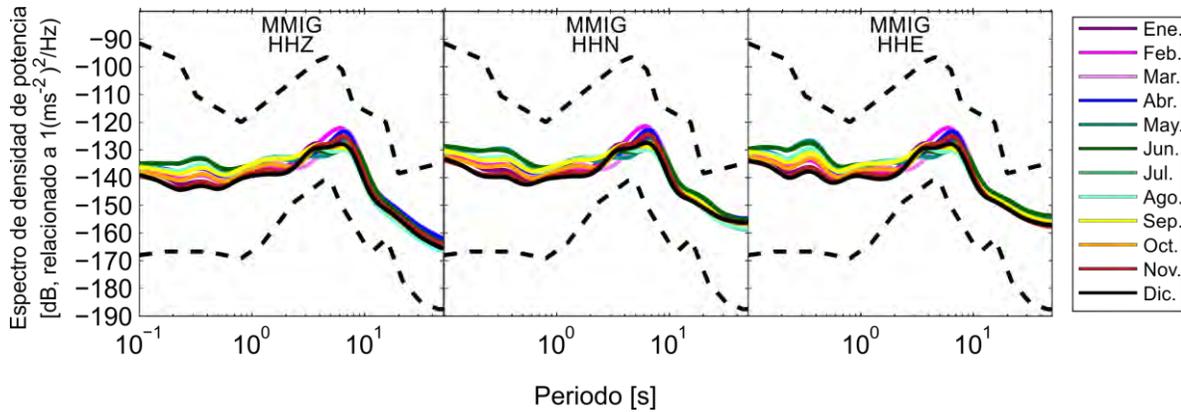


Figura 3.54 Curvas de ruido mensuales del año 2016 de la estación MMIG.

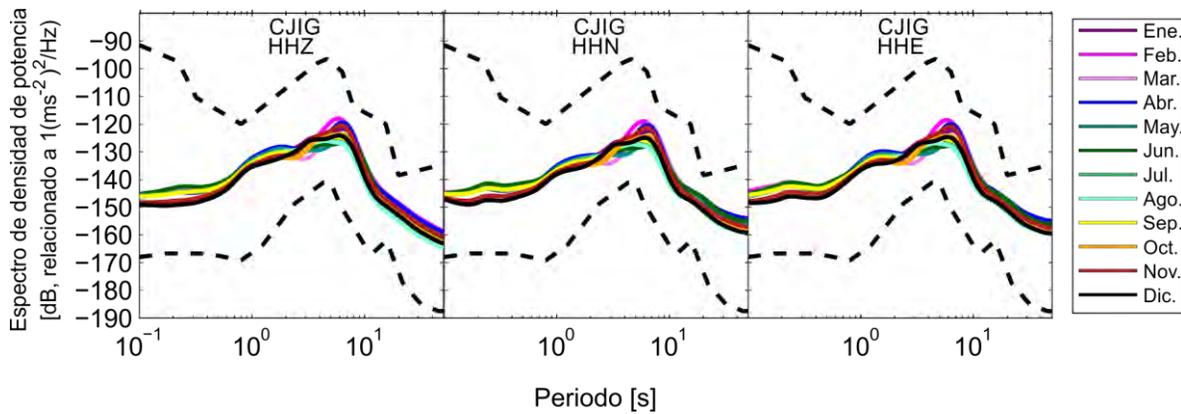


Figura 3.55 Curvas de ruido mensuales del año 2016 de la estación CJIG.

Las estaciones MAIG (Figura 3.56), LPIG (Figura 3.57), TSIG (Figura 3.58) y SRIG (Figura 3.59), que se encuentran en las costas del Mar de Cortés, presentan en sus curvas de ruido ondulaciones pronunciadas entre los 0.1 segundos de periodo y antes del pico de olas oceánicas de periodo corto, que se encuentra generalmente antes de los 7 segundos de periodo. La estación de TSIG (Figura 3.58) y LPIG (Figura 3.57) tienen mayores cambios en sus niveles de ruido dentro de este rango que las estaciones MAIG (Figura 3.56) y SRIG (Figura 3.59).

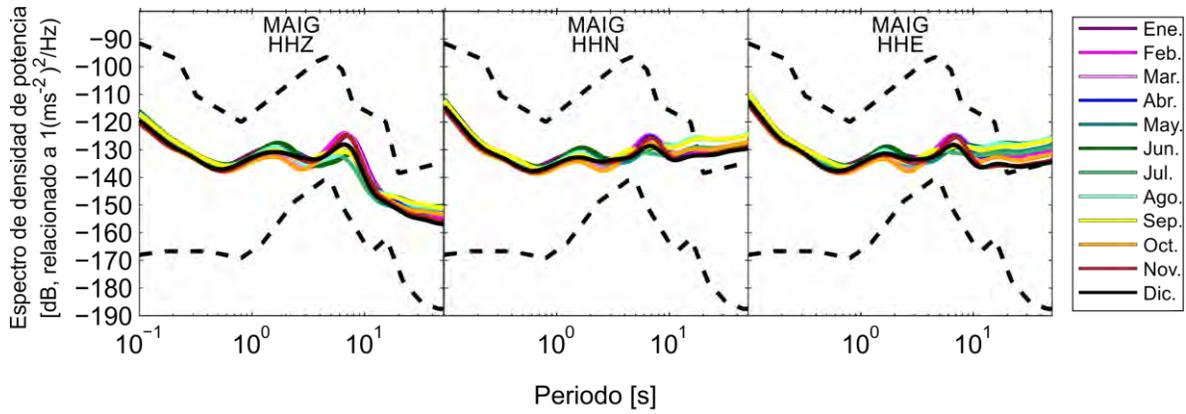


Figura 3.56 Curvas de ruido mensuales del año 2016 de la estación MAIG.

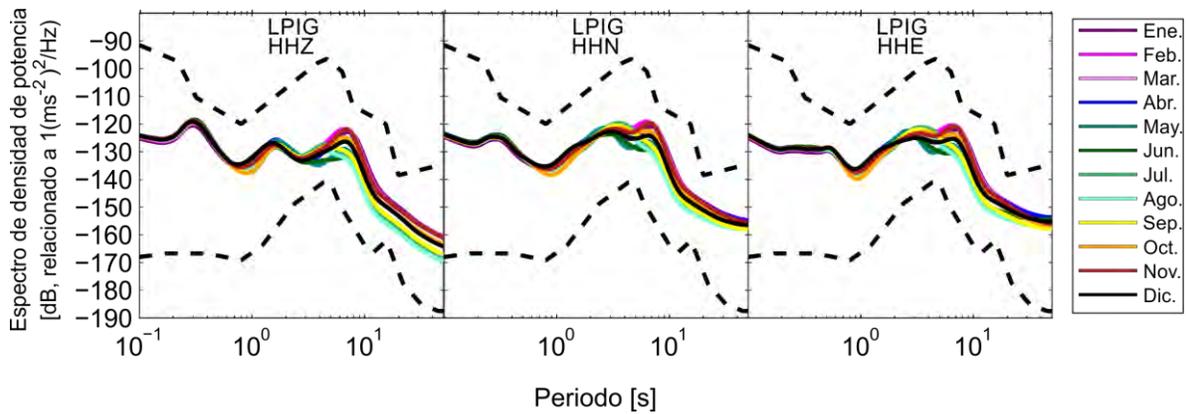


Figura 3.57 Curvas de ruido mensuales del año 2016 de la estación LPIG.

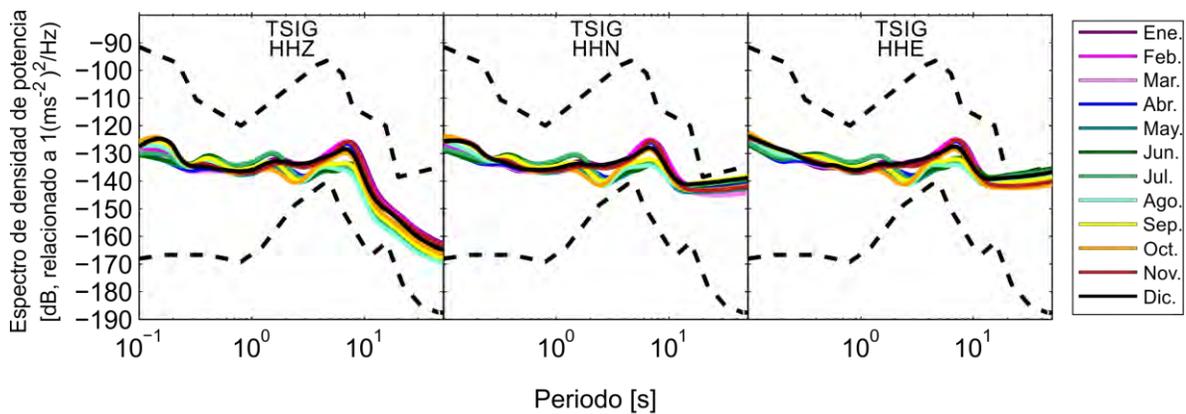


Figura 3.58 Curvas de ruido mensuales del año 2016 de la estación TSIG.

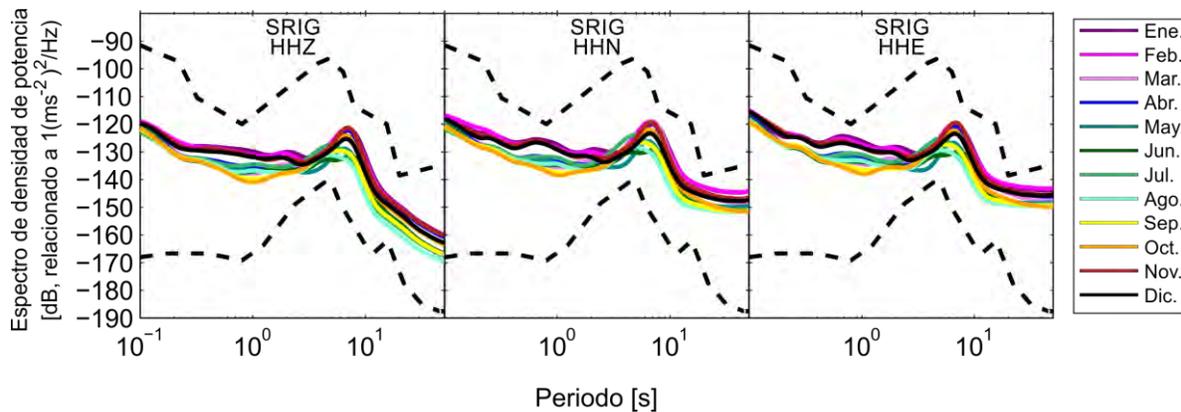


Figura 3.59 Curvas de ruido mensuales del año 2016 de la estación SRIG.

De este agrupamiento inicial se destacó una cresta importante entre 2 y 4 segundos de periodo que se observa en las estaciones que se encuentran en la zona de Chiapas-Oaxaca y en las que se encuentran en la parte sur del Golfo de México.

Young (2006) y Leckler (2015), a partir de sus investigaciones dan a conocer que existe una frecuencia pico debida a vientos de alta velocidad y que estos se encuentran entre 0.3 y 1 Hz. Los vientos que provocan este pico son de velocidades mayores de 10 m/s. En México se originan vientos debido a una diferencia de presiones originadas al norte del Golfo de México que van con dirección al sur del océano Pacífico y que pasan por la Sierra Madre del Sur a través del Paso Chavela y desembocan en el Istmo de Tehuantepec (Trasviña et al., 1995). Los vientos en esta zona llegan a alcanzar velocidades superiores a los 20 m/s. A estos vientos se les llega a conocer como vientos de chorro y específicamente en esta zona, como Tehuanos. Afectan la superficie oceánica en el Istmo de Tehuantepec. El océano tiene una reacción rápida de descenso de temperatura en 10 °C en un día, lo cual provoca remolinos de mesoescala (100-500 km) que se propagan hacia el suroeste. Estos efectos se propician en la temporada de invierno e inicios de primavera (Flores-Vidal et al., 2011).

A partir de esta información y de acuerdo con los datos del Sistema de Pronóstico Global (GFS, por sus siglas en inglés) que proporciona la Administración Nacional Oceanográfica y Atmosférica estadounidense (Figura 3.60; NOAA, por sus siglas en inglés), se pudieron relacionar los niveles de ruido energéticos del pico que se encuentra en la curva de ruido entre 2 y 4 segundos de periodo, con los vientos que pasan por las estaciones que se encuentran muy cercana a la zona sur del Golfo de México, y las estaciones que son cercanas al Istmo de Tehuantepec.

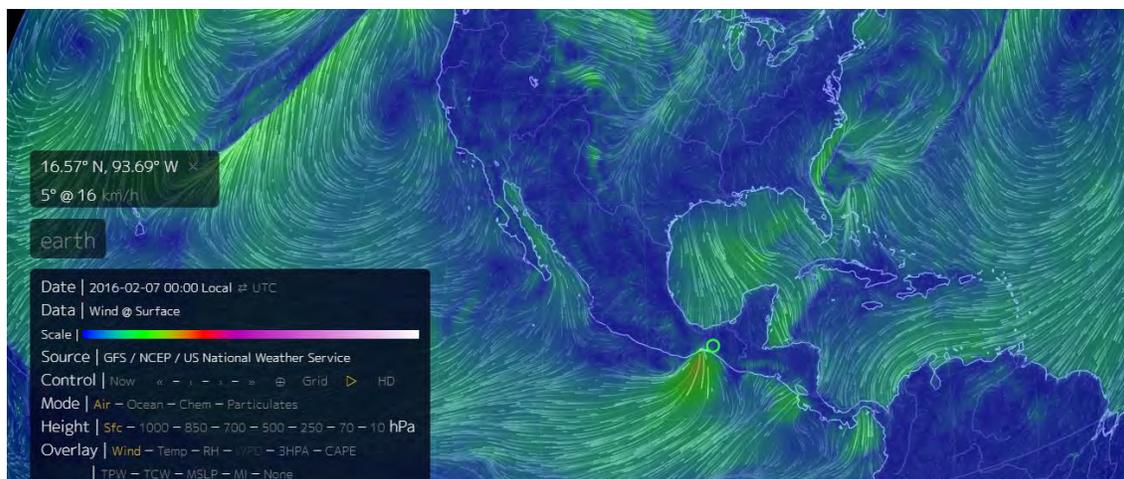


Figura 3.60 Mapa de vientos que circulan en la región mexicana del día 7 de febrero de 2016 (Figura tomada de la página web earth.nullschool.net, 2017)

3.2.2 Análisis histórico de ruido para de estaciones seleccionadas.

A partir del análisis realizado de estaciones con niveles de ruido alto, y tomando en cuenta también las recomendaciones de los ingenieros del área de instrumentación del SSN, quienes han sido testigos de los cambios que ha sufrido la zona que rodea cada una de estas estaciones, se hizo una selección de estaciones que pudieran presentar cambios en los niveles de ruido. Dicha selección se dio principalmente por el interés en observar el comportamiento del ruido en algunas estaciones de acuerdo con su ubicación geográfica, así como también por características interesante de las construcciones que la rodean.

Principalmente, en las 19 estaciones seleccionadas en el siguiente apartado, se esperaba que se presentaran niveles altos o variaciones de ruido en los periodos donde predominan las fuentes culturales.

El resto de las estaciones, aunque no se describen a continuación, se pueden consultar en el Anexo I.

AAIG (Aguascalientes, Aguascalientes)

La estación AAIG cuenta con tiempo de registro continuo desde abril de 2014. Después de analizar las curvas de ruido de todos los meses durante el tiempo total del registro, se puede observar lo siguiente:

En el mes de abril del año 2014 (curva azul), las curvas de ruido de las tres componentes presentan un incremento en los niveles de ruido de casi 5 dB a partir de los 10 segundos de periodo. Mientras que en el mes de mayo del mismo año (curva turquesa), la curva de la componente horizontal HHN muestra menor cantidad de ruido que las otras componentes del mismo mes, así como también menor que el resto de los meses de ese año (Figura 3.61).

Estos comportamientos se presentan en los primeros dos meses de la instalación de la estación y pudo deberse a problemas instrumentales en la estación.

Se observa en las componentes horizontales que en noviembre de 2014 (curva roja), la curva de ruido es mayor desde 10 segundos de periodo en adelante por 5 dB, en comparación con noviembre de otros años. Esto se puede atribuir a un incremento en el ruido ambiental, tal vez debido a variaciones de la presión atmosférica.

También, se pueden observar en las tres componentes el comportamiento del pico de olas oceánicas de periodo corto entre 4 y 8 segundos. En general, se observa un comportamiento muy uniforme cuando se comparan los mismos meses en distintos años, pero se observa un aumento de 3 dB en el mes de septiembre de 2014 (curva amarilla) en comparación con los otros meses de septiembre. Esto podría deberse principalmente al aumento en la contribución de ruido de las olas oceánicas de corto periodo.

En las tres componentes se observa una pequeña cresta entre 0.3 y 0.5 segundos de periodo. De abril a octubre (curvas azul, turquesa, verde, olivo, cian, amarilla y naranja), en el año 2016, se observa que entre 0.1 y 0.2 segundos de periodo existe una disminución de 3 a 5 dB en el nivel de ruido, en comparación con los dos años anteriores. Asimismo, para el mismo lapso de tiempo, se observa que se crea una segunda cresta entre 0.5 y 0.9 segundos de periodo que no está presente en años anteriores (Figura 3.61). Estos efectos es posible se deban a variaciones de las fuentes de ruido culturales.

A partir de 10 segundos de periodo, se observa que las componentes horizontales aumentan su nivel de ruido en comparación con la componente vertical, llegando a tener una diferencia de aproximadamente 20 a 25 dB en 50 segundos de periodo. Este aumento de energía en las curvas de ruido puede deberse a que las variaciones de la presión atmosférica afecta más a las componentes horizontales que a la vertical.

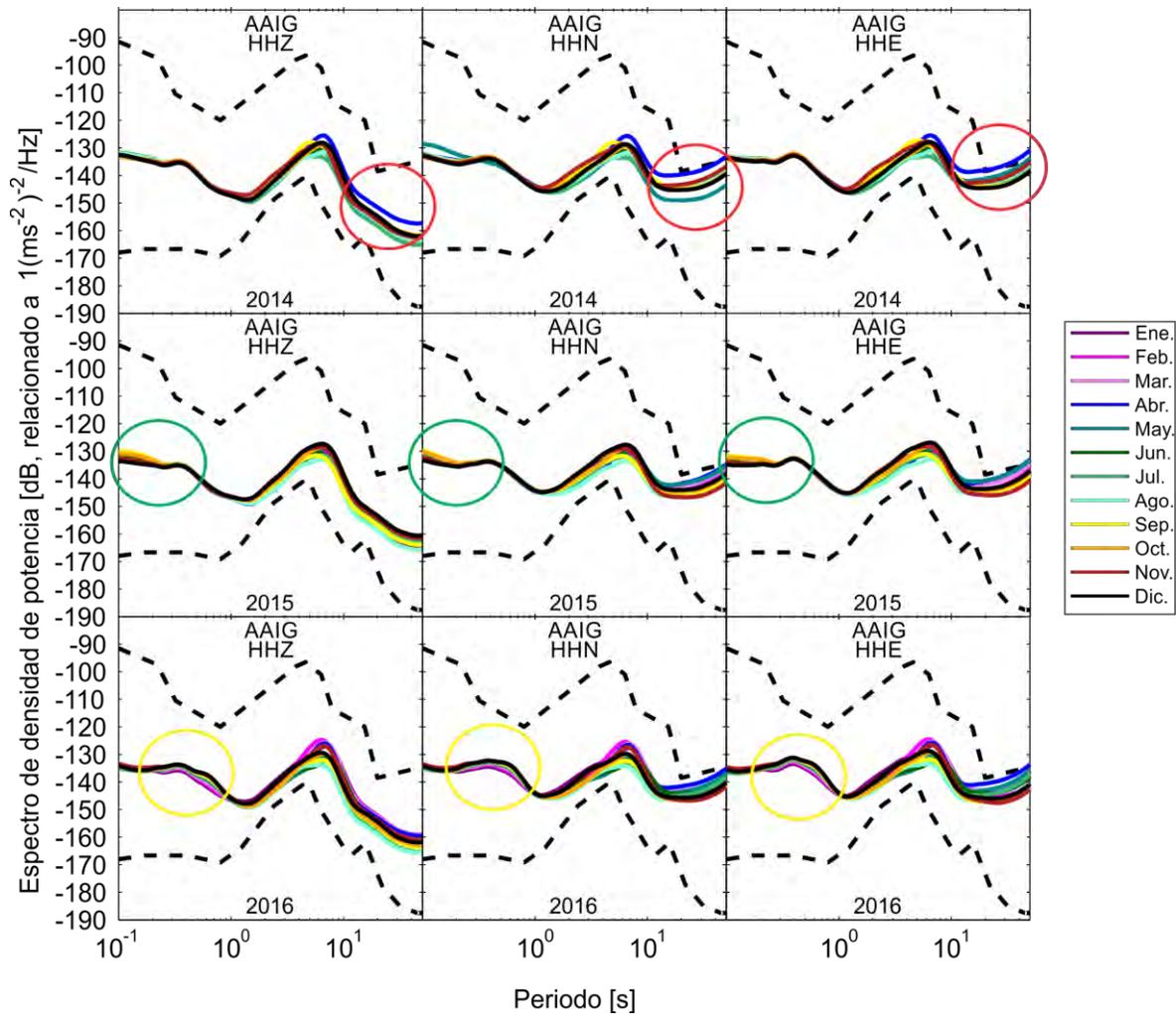


Figura 3.61 Curvas de ruido mensuales para la estación AAIG. Cada renglón representa un año y cada columna una componente. Se resalta con la elipse roja el posible problema instrumental presentado en abril y mayo de 2014. La elipse verde resalta el aumento mencionado en los meses de 2015 de abril a agosto en periodos bajos; y la elipse amarilla resalta la aparición de una segunda cresta en el año 2016.

ANIG (Ahuacatlán, Nayarit)

La estación ANIG tiene registro continuo desde agosto de 2006, con pérdida de datos de octubre de 2011 a mayo de 2012, así como en octubre de 2012. Después de analizar las curvas de ruido de todos los meses durante el tiempo total del registro, se puede observar lo siguiente:

La curva de ruido en general conserva una tendencia definida a lo largo del periodo analizado. Se observa una cresta pronunciada de 0.3 a 0.5 segundos de periodo. Este efecto podría deberse principalmente a la contribución del ruido cultural. De junio de 2012 a enero de 2013 se observa un aumento de 5 dB en el nivel de ruido entre 0.1 y 0.5 segundos de periodo. Este aumento inusual se puede atribuir a la construcción de una carretera que se encuentra muy cerca (a 150 metros aproximadamente) de la estación (Figura 3.62). Entre 4

y 8 segundos se observa el pico pronunciado de olas oceánicas de periodo corto. En general se observa que para los meses de marzo y abril (curva rosa y azul respectivamente), este pico se define mucho más en comparación con otros meses del año. Para mayo y junio de 2016 (curvas turquesa y verde, respectivamente), se observa que el pico es inusualmente menos energético en comparación con los mismos meses en otros años. Para mayo de 2016, la disminución de ruido es de aproximadamente de 2 dB mientras que para junio de 2016 es de 3 dB. Esto es posiblemente debido a las interacciones que presentan las olas oceánicas, que puede variar un poco su comportamiento a pesar de tener una tendencia en su comportamiento. En septiembre de 2014 (curva amarilla) se observa entre 1 y 8 segundos de periodo un aumento en la curva de ruido. También se observa un aumento de aproximadamente 5 dB en el pico de olas oceánicas de periodo corto. Esta anomalía podría deberse al aumento de ruido producido por microsismos oceánicos secundarios así como por el aumento de las corrientes de aire. Por otro lado, esta estación se encuentra cercana al volcán Ceboruco y esto también pudo haber sido otra fuente de ruido que se presenta en este periodo de tiempo.

La estación mostró problemas instrumentales, posiblemente debido a un desbalance de masas, en sus tres componentes en agosto de 2006 (curva cian), enero de 2007 (curva violeta) y en julio de 2010 (curva olivo). En el año 2015, se muestra que los problemas instrumentales ocurrieron de agosto a diciembre (curvas cian, amarilla, naranja, roja y negra). Esto se puede observar dado que el comportamiento de la curva pierde su tendencia de manera abrupta (Figura 3.62). El comportamiento de la curva de agosto de 2006 es debido posiblemente a proceso de estabilización del sensor de la estación posterior a su instalación.

A partir de 10 segundos de periodo, se observa que las componentes horizontales aumentan su nivel de ruido en comparación con la componente vertical, llegando a tener una diferencia entre 15 y 20 dB en 50 segundos de periodo. Este aumento de energía en las curvas de ruido puede deberse a que las variaciones de la presión atmosférica afecta más a las componentes horizontales que a la vertical.

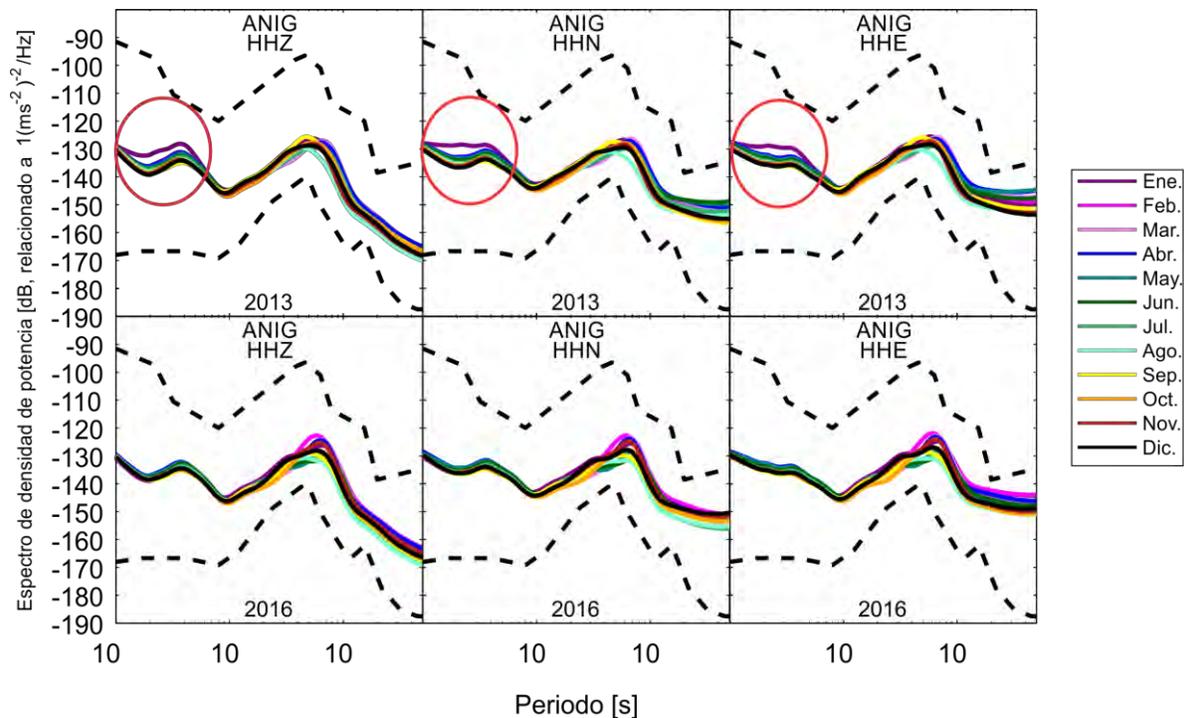


Figura 3.62 Curvas de ruido mensuales para la estación ANIG. Cada renglón representa un año y cada columna una componente. Arriba: marcado con elipse en rojo el aumento de ruido debido probablemente a la construcción de una carretera cercana a la estación. Abajo: Curvas del año 2015, donde la estación presentó problemas instrumentales.

ARIG (Arcelia, Guerrero)

La estación ARIG cuenta con registro continuo desde febrero de 2009. Después de analizar las curvas de ruido de todos los meses durante el tiempo total del registro, se puede observar lo siguiente:

Entre 0.1 y 1 segundos de periodo, la curva de ruido en las tres componentes presenta, para el mes de septiembre y octubre de 2009 (curvas amarilla y naranja, respectivamente), un aumento en el nivel de ruido aproximadamente de 5 dB con respecto a su comportamiento habitual. También se presenta para el mes de septiembre de 2013 (curva amarilla) y para los meses abril a septiembre de 2014 un aumento en la curva de ruido. Esto es mucho más notorio en el mes de abril de ese año (curva azul), en el cual se observa un aumento de hasta 10 dB en comparación con otros meses de abril de otros años y de hasta 8 dB con respecto al mes de menor ruido del año 2014. Estos comportamientos podrían atribuirse a un mayor flujo de autos en la carretera Tlapehuala-Arcelia, cercana a la estación (a 200 metros aproximadamente) o alguna otra contribución de ruido cultural, principalmente.

En las componentes horizontales, en los meses de mayo y junio de 2010 (curvas turquesa y verde, respectivamente), así como los meses de marzo a junio de 2011 (curvas rosa, azul,

turquesa y verde), se observa un aumento considerable en las curvas de ruido, desde 10 segundos de periodo, con una diferencia de 20 dB entre la curva de menor ruido y la de mayor ruido en 50 segundos de periodo (Figura 3.63). Este efecto podría deberse principalmente a cambios de presiones o aumento de las corrientes de aire.

Entre los 3 y 10 segundos de periodo se encuentran dos crestas que es donde se encuentra el pico de olas oceánicas de periodo corto, la primera entre 3 y 4 segundos de periodo y la segunda entre 4 y 8 segundos de periodo. Entre noviembre y abril se ve que predomina más la segunda cresta y en agosto y septiembre predomina la primera cresta. Esto es debido principalmente a la presencia de vientos y la interacción de las olas oceánicas, respectivamente. La estación no parece haber sido afectada en ningún momento por problemas instrumentales.

A partir de los 10 segundos de periodo, se observa que las componentes horizontales en comparación con la vertical tienen un poco de aumento en la curva de ruido desde los 10 segundos de periodo, llegando a tener un aumento de 5 dB de diferencia en los 50 segundos de periodo. Este aumento de energía en las curvas de ruido puede deberse a que las variaciones de la presión atmosférica afecta más a las componentes horizontales que a la vertical.

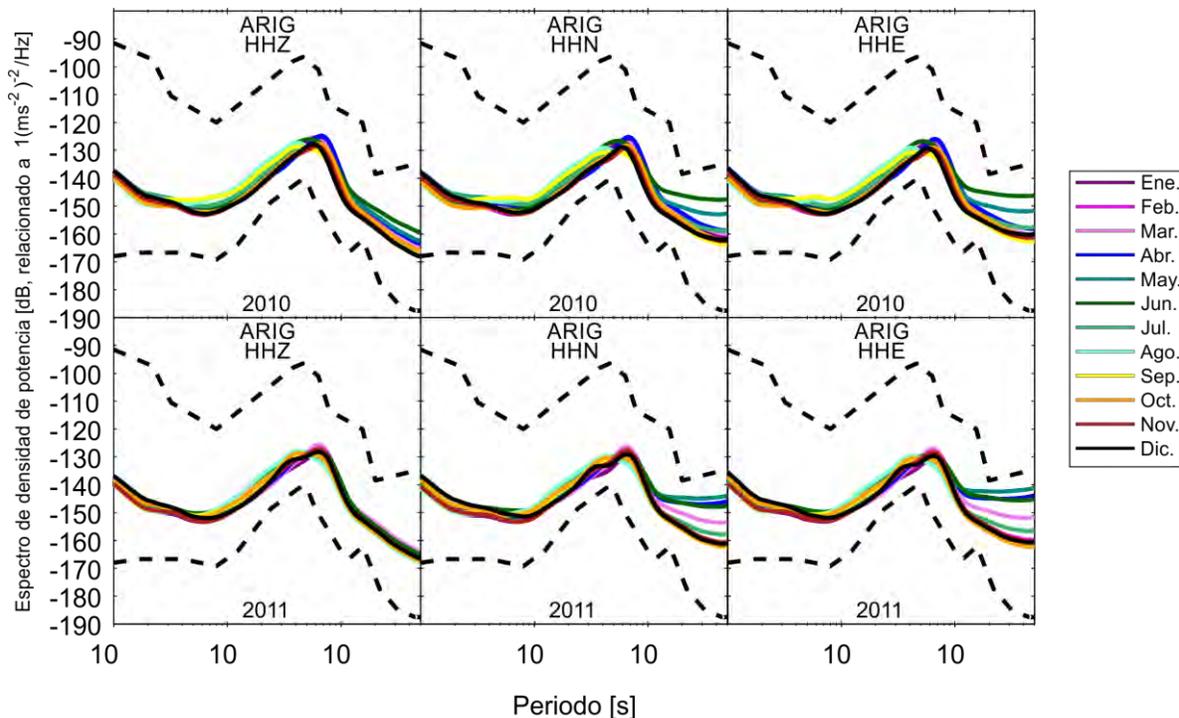


Figura 3.63 Curvas de ruido mensuales para la estación ARIG. Cada renglón representa un año y cada columna una componente. Arriba: Se observa a partir de los 10 segundos de periodo anomalías en los meses de marzo y junio de 2010. Abajo: Se observa a partir de los 10 segundos de periodo anomalías en los meses de marzo a junio de 2011.

CGIG (Casas Grandes, Chihuahua)

La estación cuenta con registro continuo desde diciembre de 2006, faltando los registros de julio y agosto de 2008, de noviembre de 2010 a febrero de 2011 y de abril y mayo de 2015. Después de analizar las curvas de ruido de todos los meses durante el tiempo total del registro, se puede observar lo siguiente:

Se presentan dos pequeñas crestas entre 0.2 y 0.4 y entre 0.4 y 0.9 segundos de periodo. Esto podría deberse principalmente a la contribución cultural de ruido debido a que cerca de la estación se encuentra la afluencia de coches que pasan por la avenida Benito Juárez así como de la Universidad Tecnológica de Paquimé y el poblado de Casas Grandes. Entre 4 y 8 segundos de periodo se encuentra el pico de olas oceánicas de periodo corto, el cual es más energético generalmente entre los meses de octubre a abril. La mayor diferencia que se observa es de aproximadamente 10 dB entre la curva menos pronunciada y la más energética. En el año 2008, el pico de olas oceánicas de periodo corto del mes de junio (curva verde) es el único que se muestra poco energético, mientras que el resto estuvieron al mismo nivel que las normalmente más energéticas del periodo de octubre a abril (Figura 3.64). Esta variación que se presentó en ese año se debió probablemente al aumento en la interacción de las olas oceánicas de periodo corto.

Analizando las componentes horizontales por separado, se puede apreciar que para el rango de 10 a 50 segundos de periodo existen variaciones en los niveles de la curva de ruido. En la componente norte-sur se observan aumentos en el nivel de ruido de mayo a septiembre entre los años 2008 a 2010. Para la componente este-oeste se observan estos aumentos en el nivel de ruido de abril a septiembre de 2007. También se observa que para mayo y junio de 2008 aumenta la curva de ruido. Asimismo para junio de 2010 se observa un aumento de la curva de ruido (Figura 3.64). Estos aumentos son menores que 10 dB en comparación con la curva menos energética para cada componente horizontal.

A partir de 10 segundos de periodo, se observa que las componentes horizontales aumentan su nivel de ruido en comparación con la componente vertical, llegando a tener una diferencia entre 15 y 20 dB en 50 segundos de periodo. Este aumento de energía en las curvas de ruido puede deberse a que las variaciones de la presión atmosférica afecta más a las componentes horizontales que a la vertical.

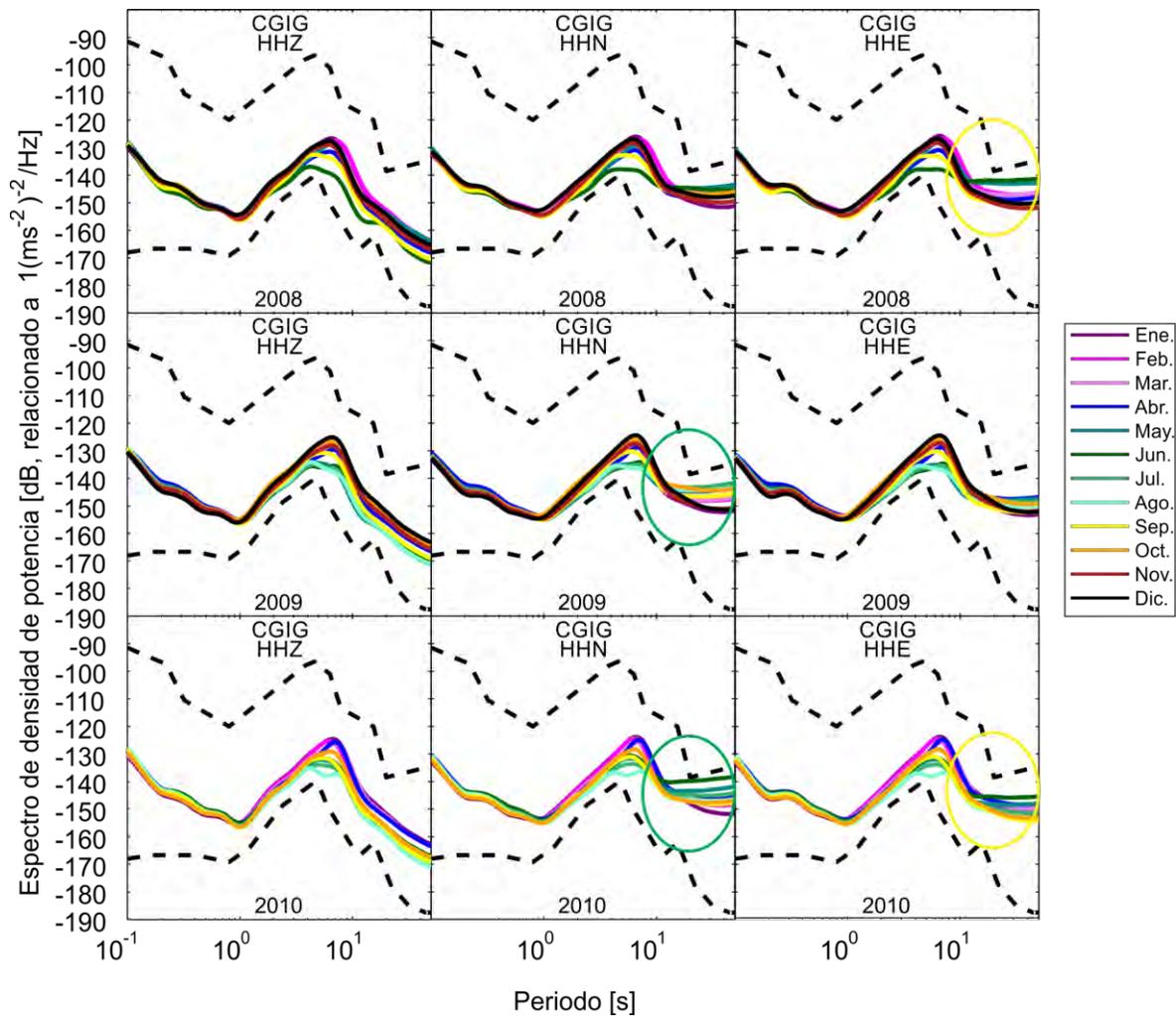


Figura 3.64 Curvas de ruido mensuales para la estación CGIG. Cada renglón representa un año y cada columna una componente. Dentro de la elipse en rojo se observa que el mes de junio del año 2008 tuvo la menor contribución de ruido en el pico de olas de periodo corto, siendo el de ese pico no es tan pronunciado como el resto. Encerrado en la elipse verde se observan las anomalías en periodos largos de la componente norte-sur y dentro de la elipse amarilla se observan las anomalías en periodos largos de la componente este-oeste.

CRIG (Cruz Grande, Guerrero)

Esta estación cuenta con un registro continuo desde marzo de 2014. No se obtuvieron registros de septiembre y noviembre de 2015. Después de analizar las curvas de ruido de todos los meses durante el tiempo total del registro, se puede observar lo siguiente:

En sus tres años de operación, la estación muestra, para sus tres componentes, una tendencia uniforme en los niveles de ruido. Aunque para el mismo mes de cada año se observan pequeñas variaciones de las curvas de ruido entre 0.1 y 7 segundos de periodo. Estas variaciones se pueden atribuir principalmente a que la estación se encuentra aproximadamente a 300 metros de una pequeña población llamada 6 de marzo y a 500

metros de un conjunto de población más extensa llamada Cruz Grande, lo cual genera diversas fuentes de ruido cultural. Se observa el pico de olas oceánicas de periodo corto entre 4 y 8 segundos de periodo, el cual se acentúa más entre los meses de octubre a abril.

Se observa un comportamiento inconsistente en el mes de febrero de 2015 (curva magenta) en la componente vertical después de 10 segundos de periodo (Figura 3.65). El nivel de ruido aumenta alrededor de 10 dB a 50 segundos de periodo en comparación con la curva de ruido de menor pendiente de ese año. Estas anomalías podrían deberse principalmente a problemas instrumentales.

A partir de 10 segundos de periodo, se observa que las componentes horizontales aumentan su nivel de ruido en comparación con la componente vertical, llegando a tener una diferencia entre 15 y 20 dB en 50 segundos de periodo. Este aumento de energía en las curvas de ruido puede deberse a que las variaciones de la presión atmosférica afecta más a las componentes horizontales que a la vertical.

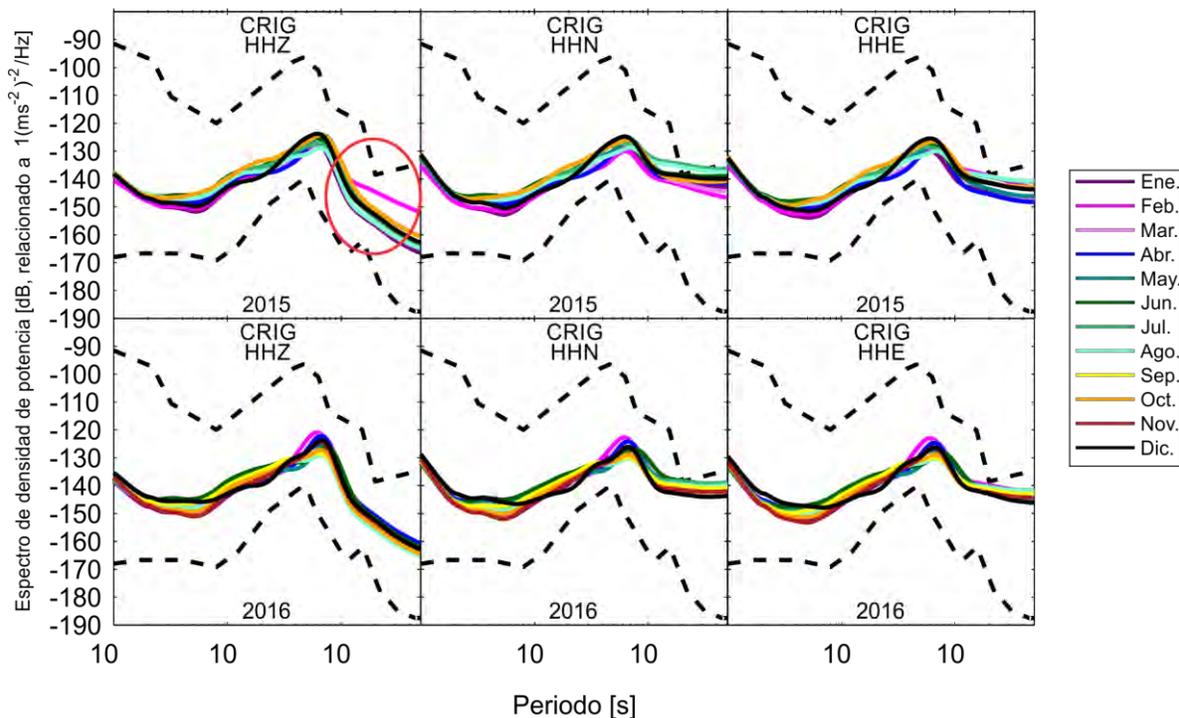


Figura 3.65 Curvas de ruido mensuales para la estación CRIG. Cada renglón representa un año y cada columna una componente. Dentro de la elipse roja se puede observar la anomalía presente sólo para la componente vertical en febrero de 2015.

CSIG (Choix, Sinaloa)

La estación cuenta con registro continuo desde octubre de 2014. Después de analizar las curvas de ruido de todos los meses durante el tiempo total del registro, se puede observar lo siguiente:

Esta estación se encuentra cerca de la presa Huites, por lo que presenta un comportamiento algo peculiar entre sus componentes, ya que las componentes horizontales presentan mucho más ruido que la vertical desde 0.1 hasta 0.7 segundos de periodo. En este rango de periodo se puede observar una pendiente muy empinada de las componentes horizontales con relación de la vertical. Por otra parte, se observa en las tres componentes entre 0.2 y 0.5 segundos de periodo una cresta que parece acentuarse en la segunda mitad del año. Estos comportamientos tan inusuales de la curva de ruido probablemente se deben en su mayor parte a ruido relacionado con su cercanía a la presa. En 2015 es el año en el que se observa mayor ruido entre 0.1 y 0.7 (Figura 3.66). Este comportamiento puede deberse a mayor actividad por parte de la presa en ese año. También se observa que de agosto a octubre (curvas cian, amarillo y naranja) existe mayor ruido que en otros meses del año. Esto se observa más claramente en el año 2016 (Figura 3.66). Asimismo se aprecia el pico de olas oceánicas de periodo corto entre 4 y 8 segundos de periodo. Este pico tiene mayores contribuciones de ruido en los meses de octubre a marzo.

A partir de 10 segundos de periodo, las componentes horizontales aumentan su nivel de ruido en comparación con la componente vertical, llegando a tener una diferencia de entre 5 y 10 dB en 50 segundos de periodo. Este aumento de energía en las curvas de ruido puede deberse a que las variaciones de la presión atmosférica afecta más a las componentes horizontales que a la vertical.

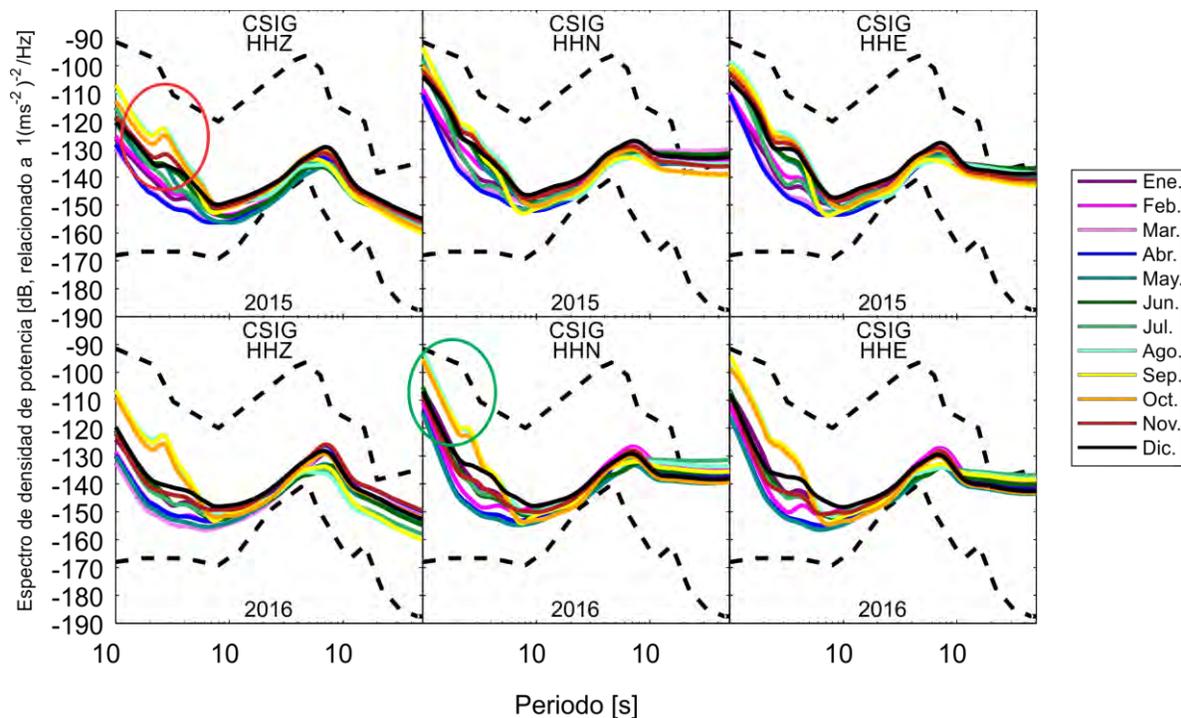


Figura 3.66 Curvas de ruido mensuales para la estación CSIG. Cada renglón representa un año y cada columna una componente. En la elipse roja se resalta la cresta entre 0.2 y 0.5 s. También se puede observar

cómo de agosto a octubre las curvas de ruido son más ruidosas que en el resto del año. La elipse verde resalta el nivel de ruido de la componente horizontal que es mucho mayor que la de la componente vertical

CUIG (Ciudad Universitaria, Ciudad de México)

Esta estación tiene registro continuo desde enero de 2003. No hubo datos disponibles de septiembre de 2003 a enero de 2004 y en marzo de 2005. Después de analizar las curvas de ruido de todos los meses durante el tiempo total del registro, se puede observar lo siguiente:

La estación muestra en sus tres componentes una cresta en 0.2 segundos de periodo y un cambio de pendiente de 0.2 a 0.1 segundos de periodo. Este efecto se debe a cómo se encuentran almacenados los datos con un muestreo de 80 muestras por segundo, lo cual provoca que no se pueda generar correctamente la curva de ruido entre estas frecuencias. La curva de ruido sobrepasa el modelo de curva de ruido alto propuesto por Peterson (1993) entre 0.3 y 0.9 segundos de periodo. Esto se debe, como ya se mencionó en la Sección 3.2.1.1, a que la estación se encuentra en Ciudad Universitaria, por lo que tiene mucha contribución de ruido cultural. Entre 4 y 8 segundos de periodo se observa el pico correspondiente a olas oceánicas de periodo corto, el cual es más pequeño en los meses de julio a septiembre y se acentúa más de octubre a marzo.

A partir de 10 segundos de periodo, las componentes horizontales aumentan su nivel de ruido en comparación con la componente vertical, llegando a tener una diferencia entre 5 y 10 dB en 50 segundos de periodo. Este aumento de energía en las curvas de ruido puede deberse a que las variaciones de la presión atmosférica afecta más a las componentes horizontales que a la vertical.

En un análisis por componentes (Tabla 3.1), se puede apreciar que la componente vertical y la horizontal este-oeste tuvieron problemas instrumentales desde el año 2007 hasta 2015. La componente horizontal norte-sur solamente tuvo problemas en el año 2007, 2012 y 2013 (Figura 3.67). Estos problemas se observan en la curva de ruido con un comportamiento anómalo a partir de los 10 segundos de periodo. La curva de ruido aumenta su nivel energético provocando cambios en la curva de hasta 40 dB en 50 segundos de periodo, al compararlo con un nivel de ruido habitual.

Tabla 3.1 Se muestran la presencia de problemas instrumentales de la estación CUIG en su componente vertical (negro), horizontal norte-sur (rojo) y horizontal este-oeste (azul).

Mes \ Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2007	[Black]											
			[Red]	[Red]	[Red]	[Red]	[Red]	[Red]	[Red]	[Red]		
	[Blue]	[Blue]	[Blue]	[Blue]	[Blue]	[Blue]	[Blue]	[Blue]	[Blue]	[Blue]		
2008	[Black]											
	[Blue]	[Blue]	[Blue]					[Blue]	[Blue]	[Blue]	[Blue]	[Blue]
2009	[Black]											
			[Blue]					[Blue]	[Blue]	[Blue]	[Blue]	[Blue]
2010	[Black]											
	[Blue]	[Blue]									[Blue]	[Blue]
2011	[Black]											
	[Blue]											
2012							[Black]					
							[Red]					
							[Blue]					
2013	[Black]											
		[Red]	[Red]	[Red]	[Red]	[Red]	[Red]	[Red]	[Red]	[Red]	[Red]	[Red]
		[Blue]	[Blue]	[Blue]	[Blue]	[Blue]	[Blue]	[Blue]	[Blue]	[Blue]	[Blue]	[Blue]
2014	[Black]											
	[Blue]	[Blue]	[Blue]	[Blue]	[Blue]	[Blue]	[Blue]					
2015	[Black]											
		[Blue]	[Blue]	[Blue]	[Blue]	[Blue]	[Blue]					
2016												

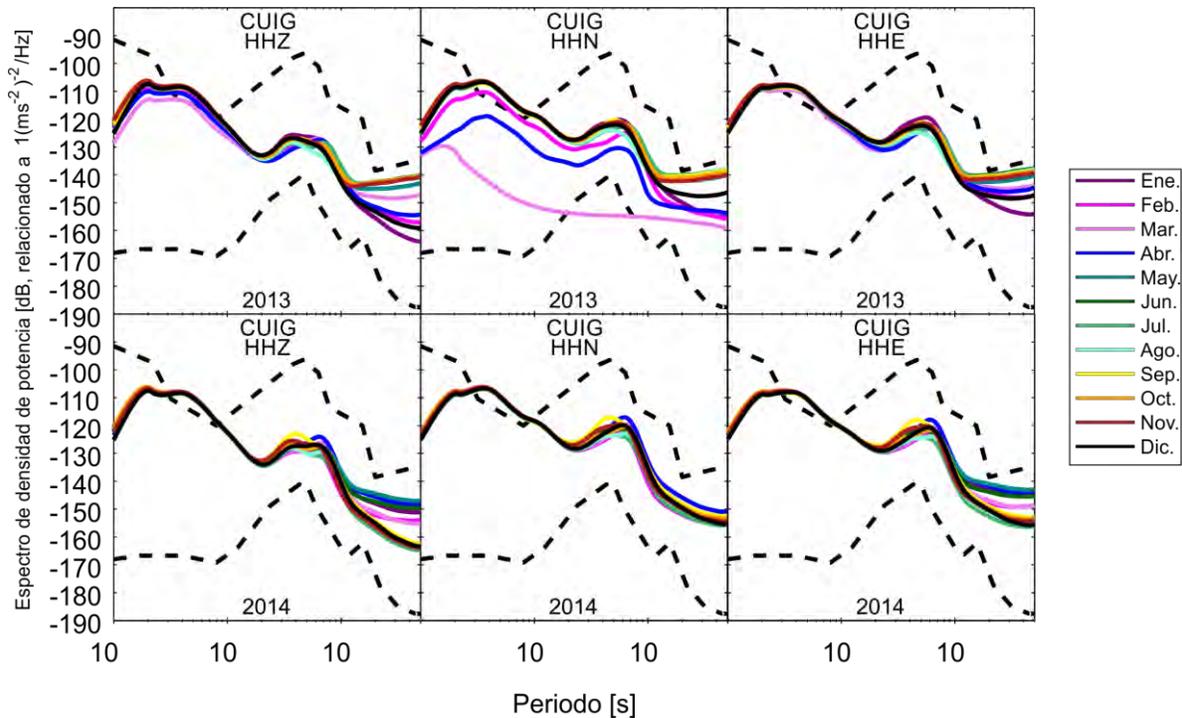


Figura 3.67 Curvas de ruido mensuales para la estación CUIG. Cada renglón representa un año y cada columna una componente. Los años 2013 y 2014 son ejemplos de los problemas instrumentales de cada componente. Para más información de la estación buscar las gráficas en el anexo I.

HLIG (Huajuapán de León, Oaxaca)

La estación cuenta con registro continuo desde diciembre de 2009. Después de analizar las curvas de ruido de todos los meses durante el tiempo total del registro, se puede observar lo siguiente:

En el año 2012, en los meses de marzo y abril (rosa y azul, respectivamente), entre 0.1 y 1 segundos de periodo se observa un aumento en la curva de ruido. Este aumento puede deberse principalmente al aumento del ruido cultural, ya sea por alguna construcción o algún otro proceso que afectase a ese periodo de tiempo, puesto que la estación se encuentra cerca de la Universidad Tecnológica de la Mixteca. Se observan dos crestas, la primera entre 2 y 4 segundos de periodo y la segunda es el pico de olas oceánicas de periodo corto que se encuentra entre 4 y 8 segundos de periodo. La segunda cresta se acentúa en la temporada de octubre a abril, llegando a ser la diferencia entre el nivel más alto y el más bajo de aproximadamente 5 dB. La primera cresta puede deber su aumento también al incremento de las corrientes de aire u olas oceánicas. En el mes de julio de 2010, se aprecia una inconsistencia en las tres componentes a partir de los 3 segundos de periodo, lo cual se le puede acreditar a problemas instrumentales (Figura 3.68).

A partir de 10 segundos de periodo, se observa que las componentes horizontales aumentan su nivel de ruido en comparación con la componente vertical, llegando a tener una diferencia entre 5 y 10 dB en 50 segundos de periodo. Este aumento de energía en las

curvas de ruido puede deberse a que las variaciones de la presión atmosférica afecta más a las componentes horizontales que a la vertical.

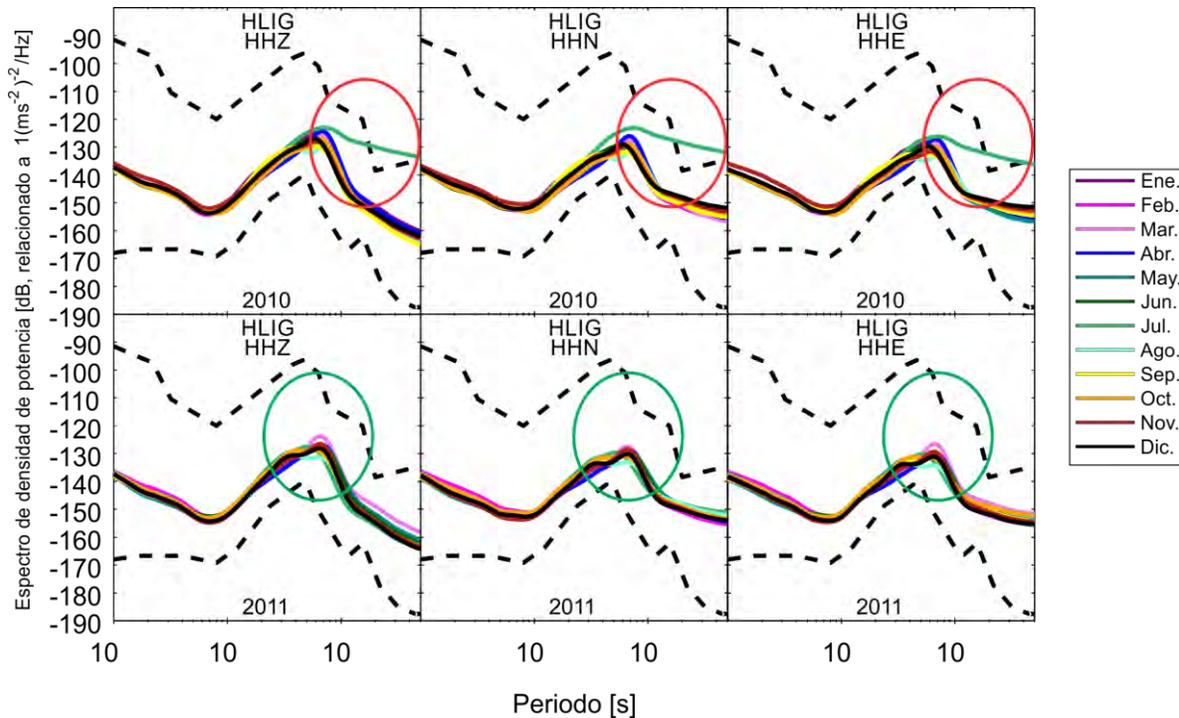


Figura 3.68 Curvas de ruido mensuales para la estación HLIg. Cada renglón representa un año y cada columna una componente. La elipse roja muestra el problema instrumental ocurrido en julio de 2010. La elipse verde resalta el pico de olas oceánicas de periodo corto y cómo los meses de octubre a abril son más energéticos.

IGIG (Irapuato, Guanajuato)

La estación IGIG cuenta con registro continuo desde junio de 2009. Después de analizar las curvas de ruido de todos los meses durante el tiempo total del registro, se puede observar lo siguiente:

En el año 2011, la curva de ruido de las tres componentes muestra un incremento de aproximadamente 3 dB entre 0.1 y 0.2 segundos de periodo por arriba de lo habitual. La estación está ubicada dentro de las instalaciones del Instituto Tecnológico Superior de Irapuato, donde ese año se construyó una cancha cerca de la estación (a 150 metros aproximadamente), por otro lado se realizó la creación del “Centro Paralímpico Nacional”, el cual cuenta con un conjunto de canchas y edificaciones, a la par en ese mismo año se realizó la construcción de una carretera para mejorar los accesos a la zona; ambos se encuentran a menos de 500 metros de la estación. El incremento en la curva de ruido está relacionado a estos cambios antes mencionados. Por otro lado, entre agosto y diciembre de 2012 se realizaron unas nuevas edificaciones por parte del “Centro Paralímpico Nacional”.

Dado todo esto, a partir del término de las construcciones y hasta el último año analizado hasta el momento, la curva de ruido ha ido incrementándose paulatinamente en el mismo rango de periodo. La diferencia llega a ser de 5 dB entre el primer y el último año de registro. Esto se debe posiblemente a que a partir de la construcción, la actividad humana ha ido aumentando (Figura 3.69).

El pico de olas oceánicas de periodo corto ubicado entre 4 y 8 segundos de periodo muestra una disminución en su nivel de ruido de agosto a octubre generalmente, y aumento de diciembre a abril. En el mes de junio de 2016 (curva verde) se observa una inconsistencia en la curva de ruido en comparación con meses de junio de otros años. La curva de ruido toma un comportamiento un poco inusual a partir de los 3 segundos de periodo y también se observa que aumenta el pico de olas oceánicas de periodo corto. Las causas de este cambio pudieran atribuirse a aumento energético en las corrientes de aire y por el incremento de la actividad oceánica.

A partir de 10 segundos de periodo, se observa que las componentes horizontales aumentan su nivel de ruido en comparación con la componente vertical, llegando a tener una diferencia entre 25 y 30 dB en 50 segundos de periodo. Este aumento de energía en las curvas de ruido puede deberse a que las variaciones de presión atmosférica afecta más a las componentes horizontales que a la vertical.

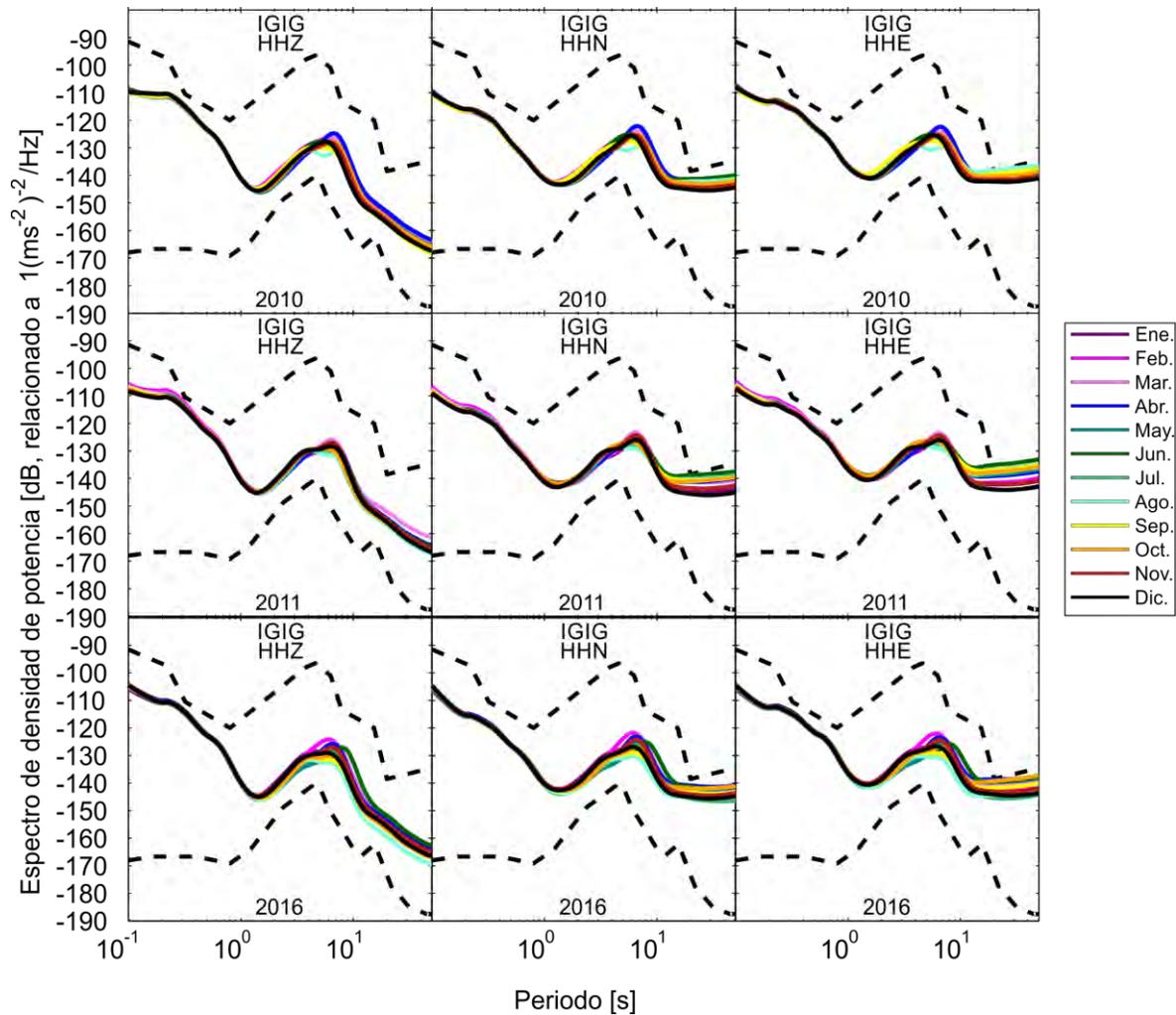


Figura 3.69 Curvas de ruido mensuales para la estación IGIG. Cada renglón representa un año y cada columna una componente. Aumento de la curva de ruido de 5 dB entre 0.1 y 0.2 segundos entre los años 2010 a 2016 en la estación IGIG.

LNIG (Linares, Nuevo León)

La estación LNIG cuenta con registro continuo desde enero de 2006, con ausencia de datos en la componente vertical y la este-oeste de julio de 2006 a marzo de 2007. Después de analizar las curvas de ruido de todos los meses durante el tiempo total del registro, se puede observar lo siguiente:

Se observa para las tres componentes, entre los 0.2 y 0.4 segundos de periodo, una pequeña cresta en la curva de ruido, lo cual se atribuye en su mayoría a la contribución de ruido cultural debido a que la estación se encuentra dentro de la Facultad de Ciencias de la Tierra de la Universidad Autónoma de Nuevo León. En julio de 2010 se observa un aumento de la curva de ruido de aproximadamente de 3 dB en la cresta antes mencionada. Esta diferencia

puede deberse a un aumento inusual de la actividad cultural. El pico de olas oceánicas de periodo corto se observa que se incrementa entre los meses de octubre a abril.

En los meses de noviembre y diciembre de 2011 (curvas roja y negra, respectivamente), se observa un aumento de la curva de ruido entre 2 y 4 segundos, esto posiblemente se deba a la ocurrencia de vientos que fueron más recurrentes y ocurrieron cerca de la estación en ese lapso de tiempo (Figura 3.70).

La estación no mostró problemas instrumentales desde su fecha de instalación hasta el año 2015. En el año 2015 se observan problemas instrumentales en sus tres componentes en toda la extensión de la curva de ruido en los meses enero, febrero, septiembre y octubre (curvas violeta, magenta, amarilla y naranja, respectivamente). Para el año 2016 se muestran problemas instrumentales en la curva de ruido de las componentes horizontales. Desde 10 segundos de periodo en adelante, las curvas no cuentan con alguna tendencia. A los 50 segundos de periodo se puede observar una diferencia de 25 dB aproximadamente entre las curvas en los extremos superior e inferior.

A partir de 10 segundos de periodo, las componentes horizontales aumentan su nivel de ruido en comparación con la componente vertical, llegando a tener una diferencia entre 15 y 20 dB en 50 segundos de periodo. Este aumento puede deberse a que las variaciones de la presión atmosférica afecta más a las componentes horizontales que a la vertical.

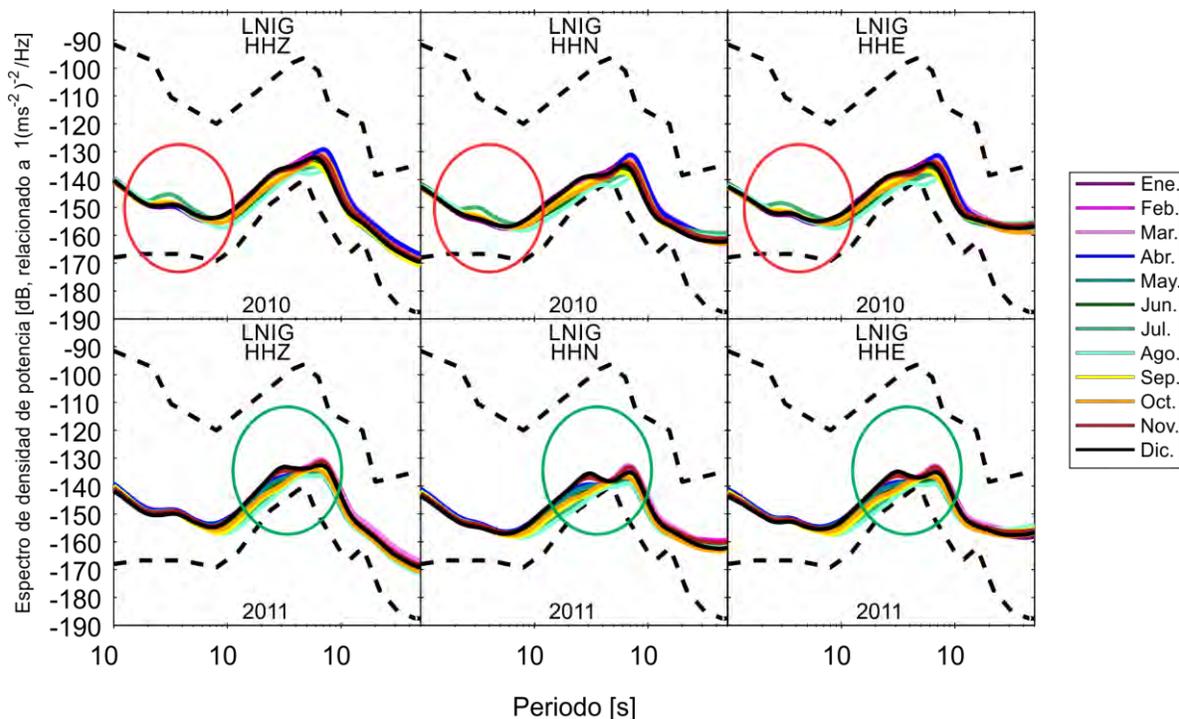


Figura 3.70 Curvas de ruido mensuales para la estación LNIG. Cada renglón representa un año y cada columna una componente. En la elipse roja se muestra el incremento de la curva de ruido de julio de 2010. En la elipse verde se resalta la cresta presentada en 2011 de 2 a 4 segundos.

MEIG (Mezcala, Guerrero)

La estación MEIG se encuentra en Mezcala, Municipio de Chilpancingo, en el estado de Guerrero; aproximadamente a 5 km de la estación se encuentra una zona de minas. La estación cuenta con un registro continuo desde julio de 2005, con ausencia de datos en enero de 2010, así como en febrero y marzo de 2011. Después de analizar las curvas de ruido de todos los meses durante el tiempo total del registro, se puede observar lo siguiente:

Desde su instalación hasta enero de 2011, la curva de ruido en sus tres componentes presenta un cambio de pendiente de 0.2 a 0.1 segundos de periodo y una pequeña cresta en 0.2 segundos de periodo. Este comportamiento se debe a cómo fueron almacenados los datos con un muestreo de 80 muestras por segundo. De enero de 2011 (curva violeta) hasta la fecha, los datos se han guardado con un muestreo de 100 muestras por segundo. Esto provoca que se pueda evaluar el ruido entre el rango de periodo antes mencionado. Asimismo provoca en la curva de ruido que este cambio de pendiente se elimine, y la cresta en 0.2 segundos de periodo también.

Se observan dos pequeñas crestas entre 0.2 y 0.4, así como entre 0.4 y 0.6 segundos de periodo. Esto se puede deber principalmente a la contribución cultural, ya que la estación se encuentra cercana al poblado de Mezcala. De junio a diciembre de 2005 se observa que la curva es hasta 5 dB menor que lo que normalmente presenta la curva entre 0.4 y 1 dB. Esto podría deberse a la disminución de fuente de ruido cultural en ese periodo de tiempo.

En la segunda mitad del año 2005 y el año 2016, entre 0.1 y 1 segundos, las curvas de ruido tienen el menor nivel energético, llegando a ser hasta 5 dB menos energéticas en comparación con la curva de mayor nivel energético del mes en comparación, mientras que se observa que en mayo y junio del año 2007 (curvas turquesa y verde) entre 0.1 y 0.2 segundos las curvas de ruido son mayores por un poco menos de 10 dB. Es probable que estos comportamientos se deban a todas las variaciones de las fuentes de ruido debido a estar cerca del poblado de Mezcala, así como las minas y aparte la fuente ambiental del Río Balsas, el cual se encuentra a menos de 500 metros de la estación. Para junio del año 2005, de julio a octubre del año 2008 (curvas olivo, cian, amarillo y naranja) y septiembre del año 2014 (curva amarilla), se observa un aumento de ruido entre 1 segundo de periodo y el pico de olas oceánicas en 7 segundos de periodo, asimismo es notorio cómo este pico se desplaza un poco a la izquierda. Este comportamiento podría deberse a dos fenómenos, la contribución de las olas oceánicas y corrientes de aire que se generan en el océano Pacífico y la interacción del agua del Río Balsas que está cercano a la estación.

Las tres componentes presentan problemas instrumentales en el mismo tiempo a lo largo de su registro. A partir de 10 segundos de periodo se observan sólo ligeros problemas en mayo y noviembre de 2012 (curvas turquesa y roja, respectivamente). Los problemas instrumentales se acentúan más conforme pasan los años. Estos se presentan en abril y mayo de 2013 (curvas azul y turquesa, respectivamente), abril de 2014, noviembre de 2015 y abril, mayo, octubre y noviembre de 2016 (curvas azul, turquesa, naranja y roja, respectivamente).

En enero de 2014 (curva violeta) se observa una anomalía para la componente horizontal norte-sur en la curva de ruido entre 0.1 y 1 segundos de periodo. La curva es menos energética por entre 5 a 10 dB. Asimismo, entre 3 y 10 segundos de periodo se observa menos contribución de ruido por 3 dB. Esto se puede atribuir posiblemente también a problemas instrumentales en esa componente (Figura 3.71).

A partir de 10 segundos de periodo se observa que las componentes horizontales aumentan su nivel de ruido en comparación con la componente vertical, llegando a tener una diferencia entre 20 y 40 dB en 50 segundos de periodo. Este aumento puede deberse a que las variaciones de la presión atmosférica afecta más a las componentes horizontales que a la vertical.

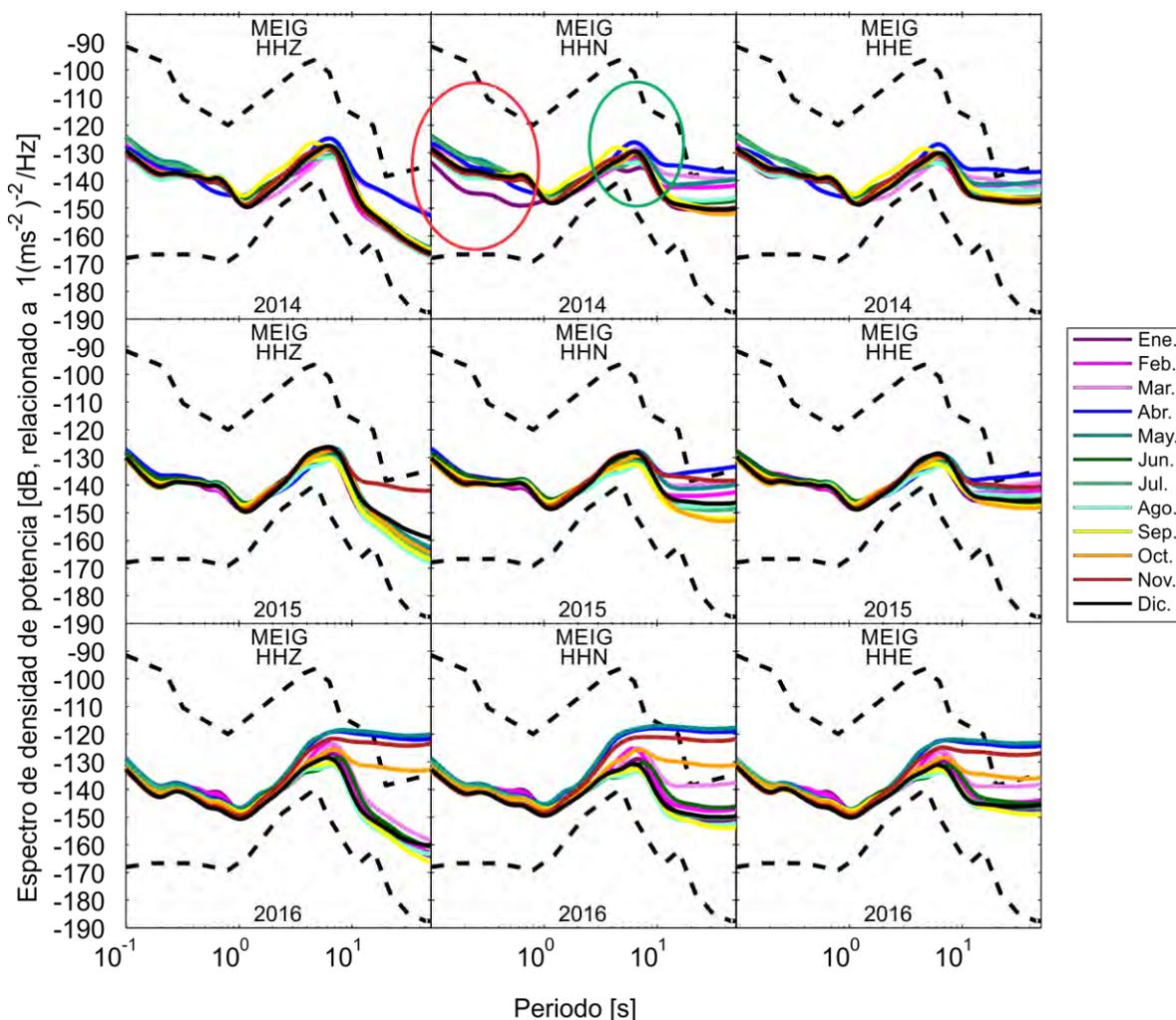


Figura 3.71 Curvas de ruido mensuales para la estación MEIG. Cada renglón representa un año y cada columna una componente. Se observa dentro de las elipses las anomalías de enero de 2014. En la elipse roja la anomalía de 0.1 a 1 s y dentro de la elipse verde la anomalía de 4 a 7 segundos. El año 2016 presenta problemas instrumentales a partir de 10 s.

MOIG (Morelia, Michoacán)

La estación cuenta con un registro continuo desde junio de 2004. Con ausencia de datos sólo en julio de 2013. Después de analizar las curvas de ruido de todos los meses durante el tiempo total del registro, se puede observar lo siguiente:

La estación muestra en general un comportamiento uniforme en el rango de tiempo analizado. De junio de 2004 y hasta julio de 2009 (curva olivo), la curva de ruido, en las tres componentes, tiene un cambio de pendiente de 0.2 a 0.1 segundos de periodo y una cresta en 0.2 segundos de periodo. A partir de agosto de 2009 (curva cian), el pico y el cambio de pendiente dejan de verse en la curva. Este efecto se debe a que los datos se encuentran almacenados a 80 muestras por segundo. Posterior a julio de 2009, el cambio de pendiente ya no se observa, y tampoco la cresta en 0.2 segundos de periodo. Este cambio en el comportamiento de la curva de ruido se debe a que a partir de esta fecha los datos fueron almacenados a 100 muestras por segundo (Figura 3.72).

Por otro lado se observa un valle pronunciado entre 0.7 y 2 segundos de periodo, el cual desde julio de 2013 (curva olivo) se vuelve menos pronunciado hasta por 15 dB de diferencia. Esto se debe al cambio de muestreo en que se almacenaba la señal, pasando de 20 muestras a 100 muestras por segundo.

En el mes de diciembre de 2016 (curva negra) se observa un aumento de hasta 25 dB en la curva de ruido entre 0.1 y 0.4. Esto se atribuye a un incremento temporal del ruido cultural en el campus Morelia de la UNAM posiblemente debido a una construcción de un edificio en ese mes (Figura 3.72).

En julio de 2014 (curva olivo), se observa una anomalía en la curva de ruido en las componentes vertical y la horizontal norte-sur entre 1 y 9 segundos de periodo. Esto podría deberse a problemas instrumentales. En agosto y septiembre de 2013 (curva cian y amarilla, respectivamente) se observa en las componentes horizontales que a partir de los 3 segundos de periodo existe un decremento inusual en la curva de ruido de 7 y 12 dB, respectivamente. Esto podría deberse a problemas instrumentales en las componentes horizontales. En julio de 2016 (curva olivo), la componente horizontal este-oeste muestra un comportamiento anómalo a partir de los 8 segundos de periodo. Esto se podría atribuir a también a problemas instrumentales.

A partir de 10 segundos de periodo, se observa que las componentes horizontales aumentan su nivel de ruido en comparación con la componente vertical llegando a tener una diferencia entre 25 y 20 dB en 50 segundos de periodo. Este aumento puede deberse a que las variaciones de la presión atmosférica afecta más a las componentes horizontales que a la vertical.

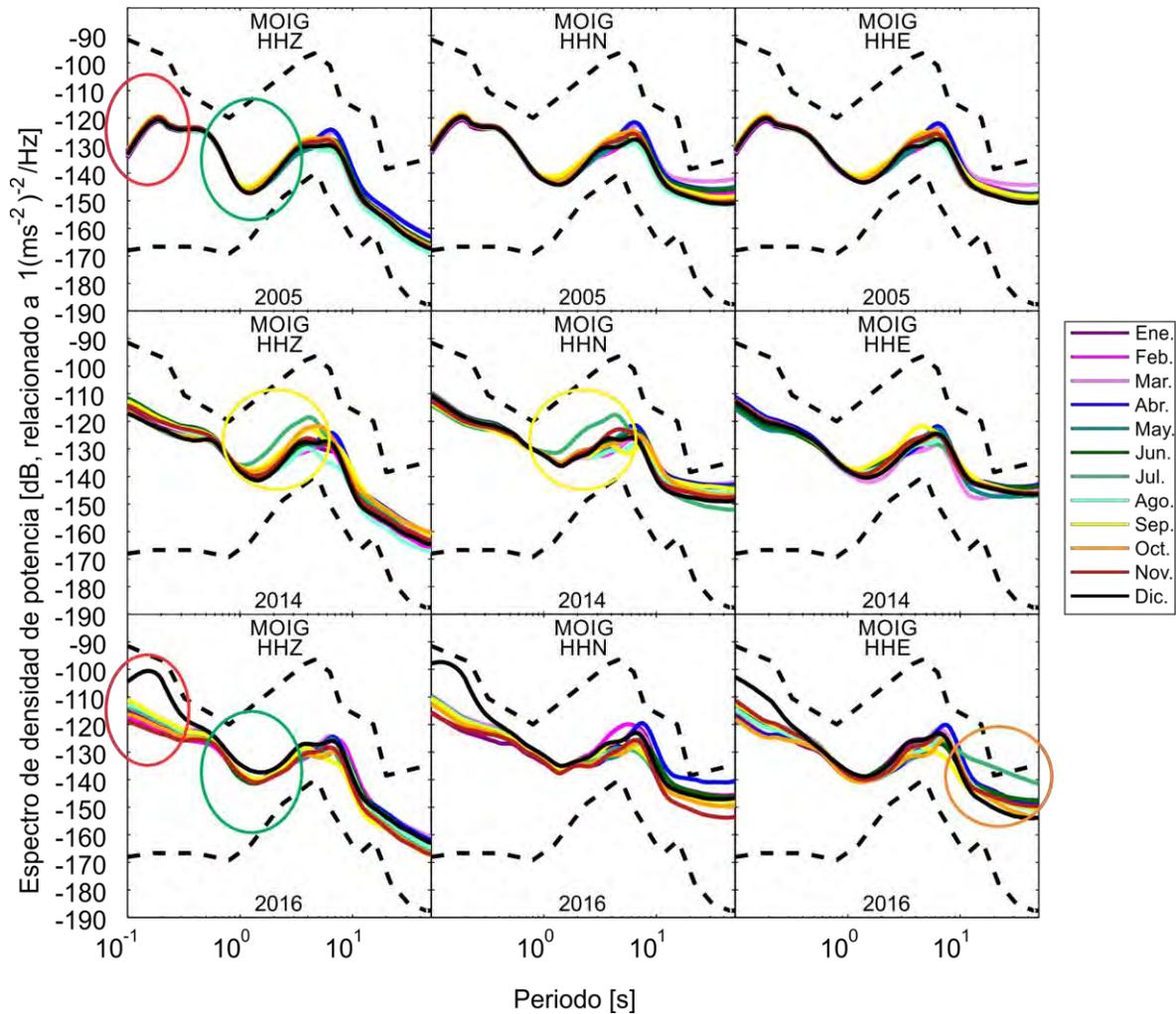


Figura 3.72 Curvas de ruido mensuales para la estación MOIG. Cada renglón representa un año y cada columna una componente. Las elipses rojas y verdes muestran las diferencias en 0.1 y 0.2 s y 4 y 9 s respectivamente. La elipse amarilla resalta problemas instrumentales en el año 2014. La elipse naranja resalta un problema instrumental para el mes de julio del año 2016, para el mismo año en el mes de diciembre la curva aumenta entre 0.1 y 0.4 s.

OXIG (Oaxaca, Oaxaca)

La estación cuenta con registro continuo desde septiembre de 2001. De ese registro continuo faltan datos de marzo de 2002, enero y febrero de 2005, octubre y noviembre de 2010 y mayo de 2013. Después de analizar las curvas de ruido de todos los meses durante el tiempo total del registro, se puede observar lo siguiente:

En las tres componentes se presenta una cresta cercana a 0.2 segundos de periodo y un cambio de pendiente de 0.2 a 0.1 segundos de periodo. Este efecto es debido a que se encuentran almacenados los datos a 80 muestras por segundo. Esto ocurre desde que fue instalada hasta diciembre de 2006. Posteriormente, el cambio de pendiente ya no se observa, tampoco la cresta en 0.2 segundos de periodo. Esto se debe a que a partir del año

2007 los datos se guardan a 100 muestras por segundos. A partir de esta fecha se sabe que hubo también un cambio del digitalizador de un Q680LT/G a un Q330 (Figura 3.73).

Se asocia el cambio en el muestreo con la modificación de la curva de ruido entre el intervalo de 0.7 y 1 segundo de periodo. Al comparar los años 2005 y 2006 con 2007 en adelante, se observa un valle no tan pronunciado para los primeros dos años; para los años posteriores se observa que este valle se pronuncia mucho más. Se presenta un aumento de hasta 5 dB en las componentes vertical y la horizontal norte-sur, mientras que para la horizontal este-oeste sólo se observa apenas un aumento de 3 dB. Se observa a partir de este cambio en la componente vertical un escalón en 0.2 segundos de periodo. Sin embargo, en las componentes horizontales no se distingue dicho escalón. Esto puede ser ocasionado por ruido cultural.

La curva de ruido muestra una tendencia muy definida entre 0.1 y 1 segundos. Entre este intervalo y durante todos los meses de cada año, las curvas se superponen entre ellas haciendo observable el conjunto de curvas como si fuera una sola. Aunque al comparar el mismo mes para distintos años, se observa que la mayor contribución de ruido en este intervalo es en los años 2012, 2013 y 2014, mientras que los que muestran menor contribución de ruido son los años 2015 y 2016. Estas diferencias posiblemente se deban a la contribución del ruido cultural.

Se observa un doble pico, uno entre 2 y 4 y el otro entre 4 y 8 segundos de periodo. El primer pico disminuye casi por completo en el mes de abril mientras que el segundo pico se observa que aumenta entre los meses de noviembre a junio. Estos efectos pueden atribuirse a las variaciones de las olas oceánicas.

En diciembre de 2005 (curva negra) y todo el año 2006, se observa, de 10 segundos de periodo en adelante, un nivel alto de la curva de ruido, pareciéndose las tres componentes entre sí y sin ninguna variación en todo este periodo. Esto coincide con un cambio del digitalizador de un Q680LT/G a un Q330, posiblemente este digitalizador pudo haber presentado algún fallo que afectara estos periodos. Para enero y marzo de 2007 y julio a noviembre de 2016, se observa que la curva decae de forma anormal a partir de 1 segundo de periodo. Esto podría atribuirse a problemas instrumentales por falla de transferencia de datos (Figura 3.73).

A partir de 10 segundos de periodo se observa que las componentes horizontales aumentan su nivel de ruido en comparación con la componente vertical, llegando a tener una diferencia entre 10 y 15 dB en 50 segundos de periodo. Este aumento puede deberse a que las variaciones de la presión atmosférica afecta más a las componentes horizontales que a la vertical.

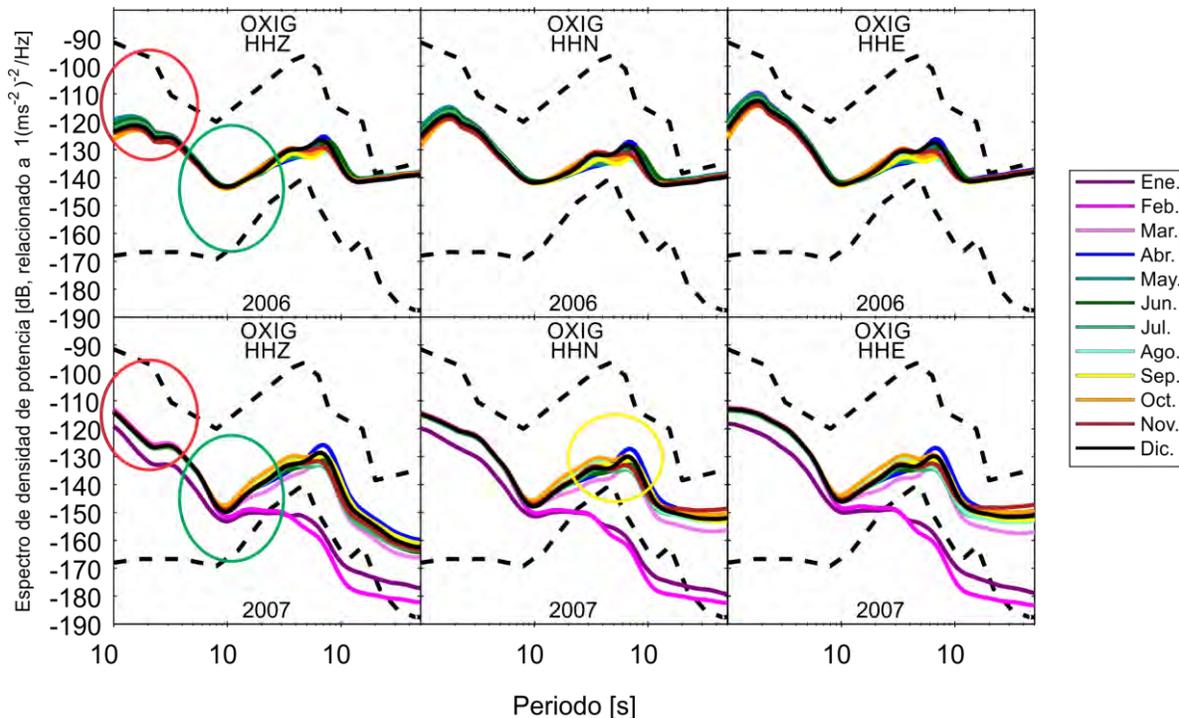


Figura 3.73 Curvas de ruido mensuales para la estación OXIG. Cada renglón representa un año y cada columna una componente. La elipse roja resalta el efecto del cambio de muestreo de 80 (arriba) a 100 (abajo) mps. En la elipse verde se resalta el efecto del cambio de un digitalizador posiblemente dañado Q680LT/G (arriba) a un Q330 (abajo). En la elipse amarilla se resalta los efectos provocados por los vientos y las olas oceánicas. Las curvas de enero y febrero del año 2007 indican que la estación tuvo problemas instrumentales.

PCIG (Pijjiapan, Chiapas)

La estación cuenta con registro continuo desde octubre de 2007. Después de analizar las curvas de ruido de todos los meses durante el tiempo total del registro, se puede observar lo siguiente:

Las curvas de ruido son en general similares en sus tres componentes al comparar todos los años del registro continuo. Entre 0.2 y 0.4 segundos de periodo, en la componente vertical, se observa una pequeña cresta. Este comportamiento de la curva se puede atribuir a contribuciones de ruido cultural. En general se observa que la curva en 0.1 segundos de periodo ha aumentado su nivel de ruido aproximadamente hasta 5 dB, desde el inicio del registro hasta la fecha. Esto se puede deber principalmente al aumento en la contribución del ruido cultural. En 2009 y 2010 se observa un aumento de no más de 3 dB entre 0.2 y 0.9 segundos de periodo. Esto también podría asociarse al incremento del ruido cultural debido a una construcción hecha cercana a la estación.

Se observa un pico pronunciado entre 2 y 4 segundos de periodo, el cual tiene variaciones de ruido durante todo el año, siendo normalmente los meses de octubre a marzo donde se observa el mayor aumento en su nivel de ruido. En noviembre de 2012 (curva roja), enero de 2015 (curva violeta) y febrero de 2016 (curva magenta), el nivel de ruido es mayor de lo

habitual llegando a ser la diferencia de aproximadamente 20 dB entre estos picos tan energéticos y el pico de menor ruido del mismo año. Asimismo, el pico de entre 2 y 4 segundos en los meses de marzo a partir del 2013 tiene un aumento en su nivel de ruido, siendo de hasta 10 dB en comparación con los meses de marzo de años anteriores. Este pico se debe a que la estación está muy cercana a la zona de vientos que transitan a velocidades mayores a 20 m/s, lo cual contribuye más en los niveles de ruido en estos periodos.

El segundo pico pronunciado es el de olas oceánicas de periodo corto que se encuentra entre 4 y 8 segundos de periodo. Este pico no muestra variaciones significativas durante todo el año. Comparando sus niveles de ruido son el del pico de 2 y 4 segundos de periodo, entre los meses de abril a junio tienen niveles de ruido similares, mientras que en el resto de los meses siempre se muestra mucho menor.

Se observan anomalías en las componentes horizontales a partir de 10 segundos, en la curva de ruido del mes de octubre de 2007 (curva naranja). Este mes fue cuando se instaló la estación, por lo cual dicha anomalía se pudo deber al proceso de estabilización del sensor de la estación posterior a la instalación. En el año 2008, entre los meses de enero a abril (curva violeta, magenta, rosa y azul respectivamente), se observa, en la componente horizontal norte-sur, un aumento en su nivel de ruido de 5 dB entre 0.1 y 0.2 segundos de periodo. Asimismo, en las tres componentes se observa, entre 0.2 y 0.9 segundos de periodo, una disminución energética inusual afectando más a la componente horizontal norte-sur, en la cual se observan hasta 3 dB de diferencia en comparación con las curvas de los otros meses de ese año. La componente vertical muestra una diferencia de 2 dB. La componente horizontal este-oeste muestra 1 dB de diferencia. También se observa para las tres componentes un comportamiento anómalo en el nivel de ruido a partir de los 10 segundos de periodo. Estos efectos detectados en este año se podrían atribuir a un cambio de sismómetro a los pocos meses de instalada la estación, aunque no hay registro sobre este cambio en la información histórica que se consultó (Figura 3.74).

Por otro lado, se pueden observar anomalías en las curvas de los meses de julio y agosto de 2011 (curva olivo y cian, respectivamente). Se observa que en toda la extensión de la curva de ruido de julio es mucho más bajo el nivel que para cualquier otro mes y la de agosto se observa sólo una parte de esta curva. Esto se debe a problemas instrumentales, ya que la estación sólo registró durante este mes ruido instrumental.

A partir de 10 segundos de periodo se observa que las componentes horizontales aumentan su nivel de ruido en comparación con la componente vertical, llegando a tener una diferencia entre 5 y 10 dB en 50 segundos de periodo. Este aumento de energía en las curvas de ruido puede deberse a que las variaciones de la presión atmosférica afecta más a las componentes horizontales que a la vertical.

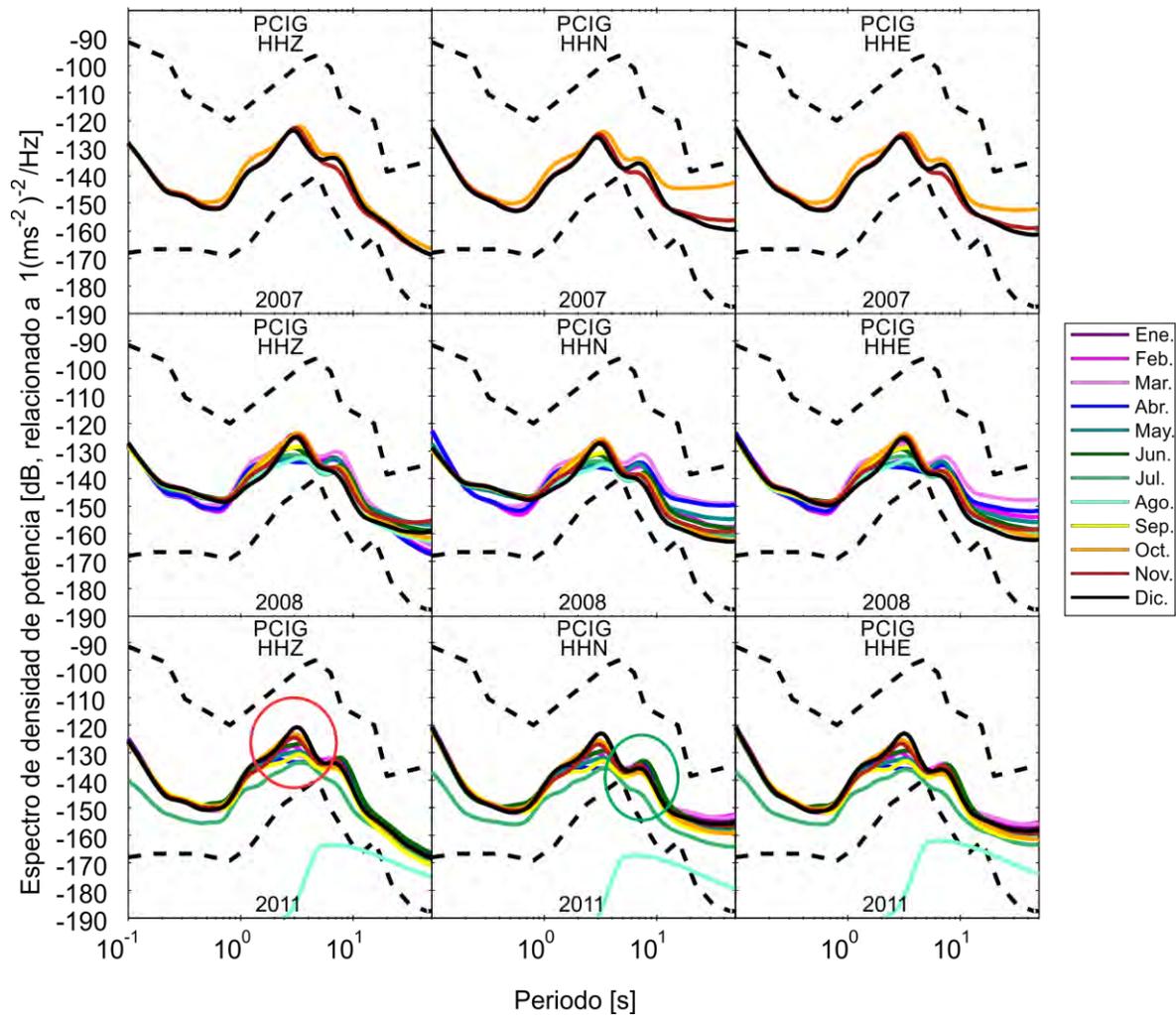


Figura 3.74 Curvas de ruido mensuales para la estación PCIG. Cada renglón representa un año y cada columna una componente. Se muestra en esta figura los años con problemas instrumentales. La elipse roja resalta la cresta de 2 a 4 segundos. En la elipse verde se encuentra el pico de olas de periodo corto de 4 a 8 segundos.

SRIG (Santa Rosalía, Baja California Sur)

La estación cuenta con registro continuo desde febrero de 2008. Después de analizar las curvas de ruido de todos los meses durante el tiempo total del registro, se puede observar lo siguiente:

Entre 0.1 y 2 segundos de periodo, para las tres componentes, se observa una curva de ruido con una pendiente negativa poco pronunciada y con pequeñas ondulaciones a lo largo de ésta. En general, se observa que los meses con mayores niveles de ruido para este rango de periodos son de octubre a febrero. Asimismo, se observan para los años de 2015 y 2016 una separación significativa de hasta 3 dB entre 0.2 y 2 segundos de periodo en los meses de noviembre a febrero, en comparación con los demás meses de estos años (Figura 3.75). Estos comportamientos en la curva de ruido pueden deberse principalmente a ráfagas de

vientos, ya que la estación está muy cercana a la costa del Mar de Cortés; aunque también tiene contribuciones culturales, dado que la estación se encuentra dentro de la infraestructura del Instituto Tecnológico Superior de Mulegé. Entre 4 y 8 segundos se encuentra el pico de olas oceánicas de periodo corto y se puede observar que el nivel de ruido aumenta principalmente en los meses de octubre a marzo; mientras que para los demás meses se observan niveles más bajos, con una diferencia entre ambos niveles de hasta aproximadamente 10 dB. Este cambio en los niveles de ruido se debe principalmente a las variaciones en la actividad de las olas oceánicas. En el año 2010 se observa que solamente en el mes de agosto (curva cian) la estación tuvo bajas contribuciones de ruido en el pico de olas oceánicas de periodo corto, mientras que durante los demás meses, la estación tuvo contribuciones de ruido entre 5 y 10 dB mayores, esto se pudo deber a un incremento en ese año de la interacción de las olas oceánicas de periodo corto.

Entre 10 y 50 segundos de periodo se observa un comportamiento distinto entre la componente vertical y las componentes horizontales de la estación. Se observa una variación de entre 10 y 20 dB entre las componentes horizontales y la vertical. Las componentes horizontales son las que presentan mayor contribución de ruido. Este aumento de energía en las curvas de ruido puede deberse a que las variaciones de la presión atmosférica afecta más a las componentes horizontales que a la vertical.

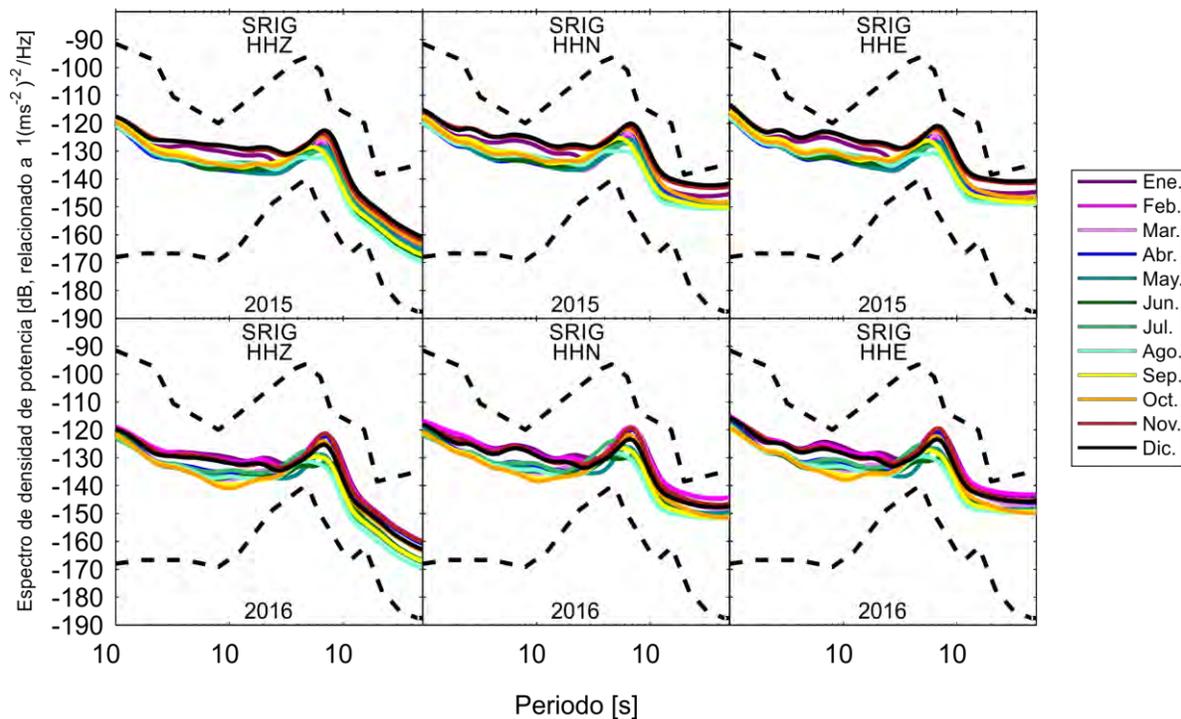


Figura 3.75 Curvas de ruido mensuales para la estación SRIG. Cada renglón representa un año y cada columna una componente. En la imagen se muestran los años 2015 y 2016 donde la curva de ruido aumenta de 0.2 a 2 s. en los meses de noviembre a diciembre

SSIG (Sanalona, Sinaloa)

La estación cuenta con registro continuo desde enero de 2014, sin disponibilidad de datos en enero de 2010. Después de analizar las curvas de ruido de todos los meses durante el tiempo total del registro, se puede observar lo siguiente:

Para las tres componentes se aprecia que en enero de 2014 (curva violeta), la curva de ruido presenta variaciones por problemas instrumentales. Esta anomalía se debe probablemente a que el sensor de la estación se encontraba en proceso de estabilización posterior a su instalación. En los meses de agosto y septiembre de 2015 (curva cian y septiembre, respectivamente), se observa que la curva de ruido entre 0.1 y 1 segundo de periodo se incrementa hasta por 3 dB en ciertos tramos de esta sección, en comparación del resto de las curvas de ese año. Asimismo, se observa una cresta siempre constante en 0.2 segundos de periodo, que se torna algo puntiaguda. En septiembre del año 2015 y noviembre del año 2016, se observa en las componentes horizontales un valle inusual entre 0.1 y 0.2 segundos de periodo. En noviembre de 2016 (curva roja) y antes del valle mencionado, se tiene un incremento de la curva, de 10 dB para la componente horizontal este-oeste, y de 5 dB para la componente vertical y horizontal norte-sur (Figura 3.76). Estos efectos pueden ser por ruido cultural debido a las particularidades del lugar, ya que la estación se encuentra ubicada cercana a la presa de Sanalona y de la hidroeléctrica de Sanalona. Por otro lado, se observa una cresta notoria entre los 1 y 3 segundos. A lo largo de los 3 años de registro, esta cresta no tiene un patrón definido, siendo más definida en distintos meses de estos tres años. Esta cresta se puede atribuir al ruido producido por los efectos de la presa y la hidroeléctrica de Sanalona y también por el movimiento del río Tamazula que se encuentra cercano a la estación.

También se observa cómo el pico de olas oceánicas de periodo corto, que se encuentra entre 6 y 8 periodos de segundo, se acentúa más entre los meses de octubre a abril.

A partir de 10 segundos de periodo, se observa que las componentes horizontales aumentan su nivel de ruido en comparación con la componente vertical, llegando a tener una diferencia entre 20 y 25 dB en 50 segundos de periodo. Este aumento puede deberse a que las variaciones de la presión atmosférica afecta más a las componentes horizontales que a la vertical.

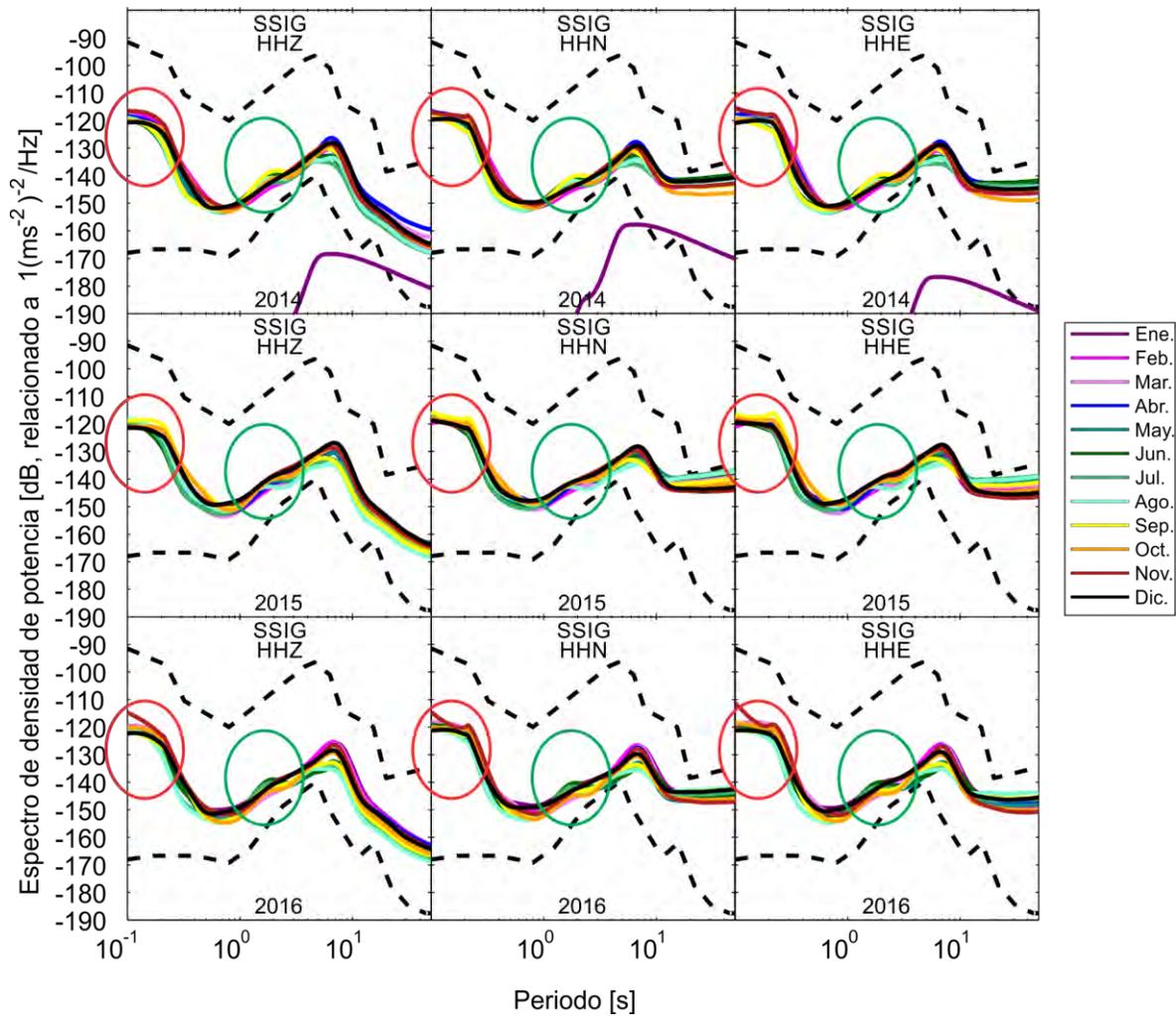


Figura 3.76 Curvas de ruido mensuales para la estación SSIG. Cada renglón representa un año y cada columna una componente. En las elipses rojas se muestran tanto los picos a 0.2 s así como los valles entre 0.1 y 0.2 s. en los meses que lo muestran. En las elipses verdes se muestran las crestas entre 1 y 3 s. En el año 2014 la curva del mes de enero se vio afectada por problemas instrumentales.

TGIG (Tuxtla Gutiérrez, Chiapas)

Esta estación cuenta con registro continuo desde mayo de 2007. No hubo disponibilidad de datos en los meses de diciembre de 2009 a febrero de 2010, tampoco en junio de 2011 y de febrero a marzo de 2013.

Después de analizar las curvas de ruido de todos los meses durante el tiempo total del registro, se puede observar lo siguiente: Se observa en el mes de mayo de 2007 (curva turquesa), en las tres componentes, una anomalía en la curva. Lo más probable es que esto se deba a procesos de estabilización del sensor de la estación posterior a la instalación de la misma. En noviembre de 2009 (curva roja), se observa una inconsistencia en la curva de ruido a partir de 0.5 segundos de periodo y hasta 10 segundos de periodo. Esto podría

atribuirse a mayores contribuciones ambientales, principalmente aumento en las corrientes de aire y en las olas oceánicas.

La curva de ruido muestra una cresta entre 0.2 y 0.4 segundos de periodo. Esto se puede presentar principalmente por el ruido cultural, ya que la estación se encuentra dentro de la infraestructura de la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. Se observan dos crestas entre 2 y 4 segundos de periodo y entre 4 y 8 segundos de periodo. La primera cresta se acentúa entre los meses de octubre a abril. La diferencia entre la curva menor y mayor de cada año es de 10 dB. Para enero de 2015 y febrero de 2016, se observa un aumento de la cresta de 15 dB en comparación con la curva menos energética de su año correspondiente. El comportamiento de la primera cresta es similar al de la estación PCIG. La segunda cresta es el pico de olas oceánicas de periodo corto. Esta cresta casi no tiene variaciones en su nivel de ruido durante todo el año. Estas crestas se deben a la contribución de olas oceánicas.

La estación muestra una característica inusual a partir de los 5 segundos de periodo, ya que la componente vertical tiene mucho parecido con la componente horizontal este-oeste. Por el momento la causa de este efecto no ha sido identificada.

En el mes de mayo de 2007 (curva turquesa), época en la que comenzó la estación a funcionar, la curva de ruido tiene un comportamiento contrastante con el resto de las curvas, mostrándose sólo una parte de esta y la mayoría por debajo del NLNM, esto es debido a anomalías instrumentales que pudieron presentarse por el proceso de instalación y calibración de la estación (Figura 3.77). Por otro lado, en la componente horizontal este-oeste en octubre de 2007, se observa una anomalía en la curva entre 0.2 y 10 segundos de periodo. Esto puede deberse también a problemas.

A partir de 10 segundos de periodo se observa que las componentes vertical y horizontal este-oeste se encuentran con un nivel muy parecido de ruido. La componente horizontal resulta ser menos ruidosa entre 10 a 15 dB en 50 segundos de periodo. Este aumento puede deberse a que las variaciones de la presión atmosférica afecta más a las componentes horizontales que a la vertical. Aunque como ya se mencionó en la sección 3.2.1.2, este parecido de una componente vertical con una horizontal en periodos largos se deba a un problema con el sensor debido a la interconexión entre los 3 ejes que registran.

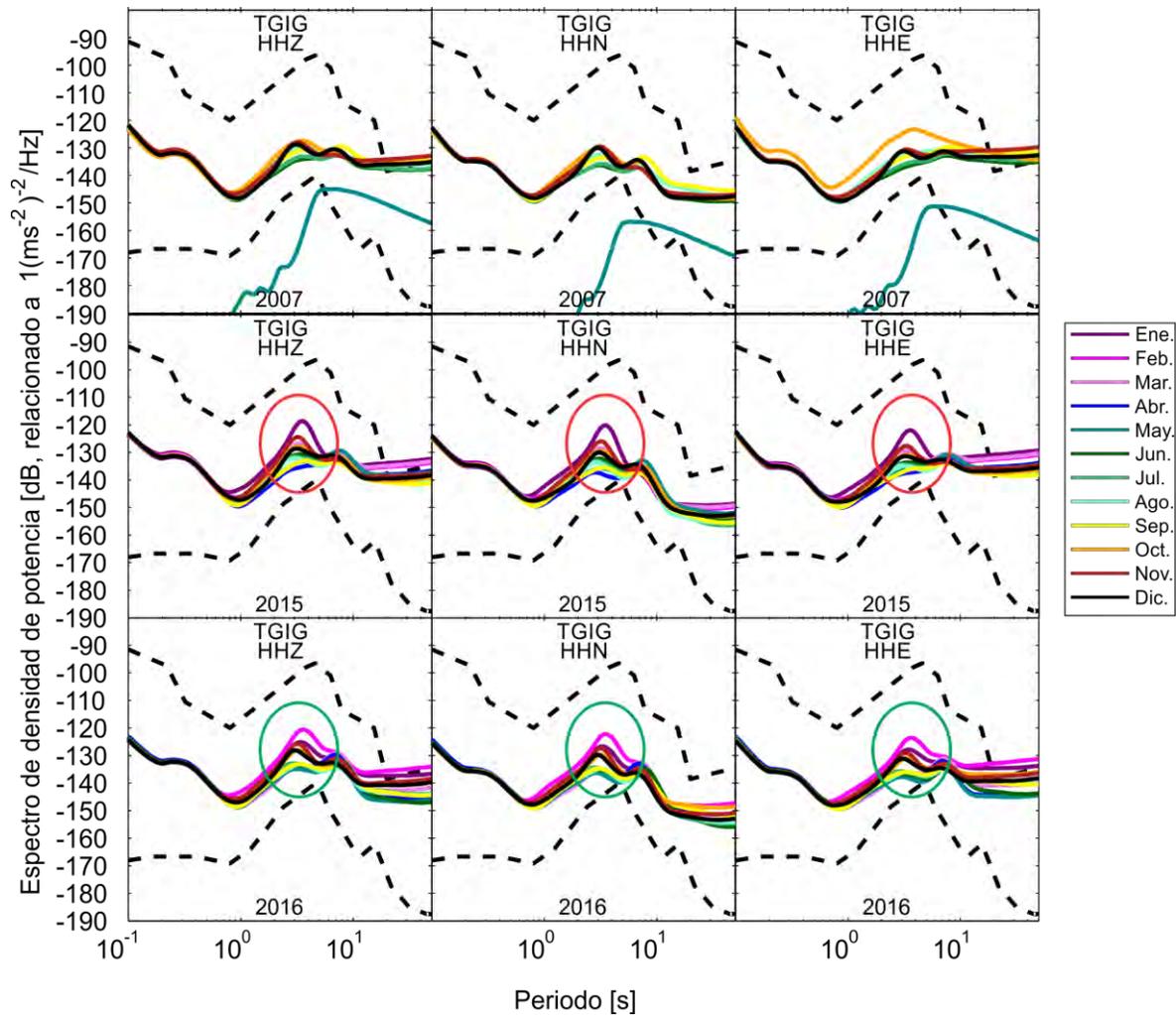


Figura 3.77 Curvas de ruido mensuales para la estación TGIG. Cada renglón representa un año y cada columna una componente. Dentro de la elipse roja se resalta al aumento de ruido en enero de 2015. En la elipse verde se resalta el aumento de ruido de 2016. En el año 2007 se puede observar problemas instrumentales en las tres componentes en mayo de 2007 y en la componente horizontal este-oeste en el mes de octubre de 2007.

TLIG (Tlapa, Guerrero)

Esta estación tiene registro continuo desde octubre de 2009. No hubo disponibilidad de datos para el mes de febrero de 2013. Después de analizar las curvas de ruido de todos los meses durante el tiempo total del registro, se puede observar lo siguiente:

Se aprecia una tendencia constante del ruido durante todo el tiempo analizado en las tres componentes. Entre 0.2 y 0.4 segundos de periodo se observa que se puede atribuir principalmente cultural proveniente de la infraestructura del Instituto Tecnológico Superior de la Montaña Campus Tlapa de Comonfort, en donde que se encuentra la estación.

En el mes de octubre del año 2011 (curva naranja), entre 0.1 y 0.3 segundos de periodo, se observa un aumento de aproximadamente 2 dB en la curva de ruido. Este aumento es mayor para la componente vertical y la componente horizontal norte-sur. La componente horizontal este-oeste muestra menor aumento. En el mes de marzo del año 2012 (curva rosa), entre 0.1 y 0.4 segundos de periodo, se observa un aumento en el nivel de ruido por aproximadamente 3 dB en comparación con las curvas de los otros meses de ese año. Estos comportamientos seguramente son debidos al aumento temporal de ruido cultural (Figura 3.78).

El pico de olas oceánicas de periodo corto se acentúa en la temporada de octubre a abril, mientras que en julio, agosto y septiembre es cuando se ve menos energético. En septiembre de 2014 (curva amarilla), se observa un incremento de 4 dB en ese pico en comparación con meses de septiembre de otros años. En febrero de 2016 (curva magenta), se observa un pico 10 dB mayor en comparación con la curva menos energética del mismo mes. Asimismo, se observa un decremento de 2 dB del pico en los meses de mayo y junio de 2016 (curva turquesa y verde, respectivamente) en comparación con la curva más energética de los mismos meses. Al lado de este decremento, se observa un pequeño valle en la curva de ruido. Estos efectos son provocados principalmente por variaciones de las olas oceánicas.

A partir de 10 segundos de periodo, las componentes horizontales aumentan su nivel de ruido en comparación con la componente vertical, llegando a tener una diferencia entre 5 y 10 dB en 50 segundos de periodo. Este aumento puede deberse a que las variaciones de la presión atmosférica afecta más a las componentes horizontales que a la vertical.

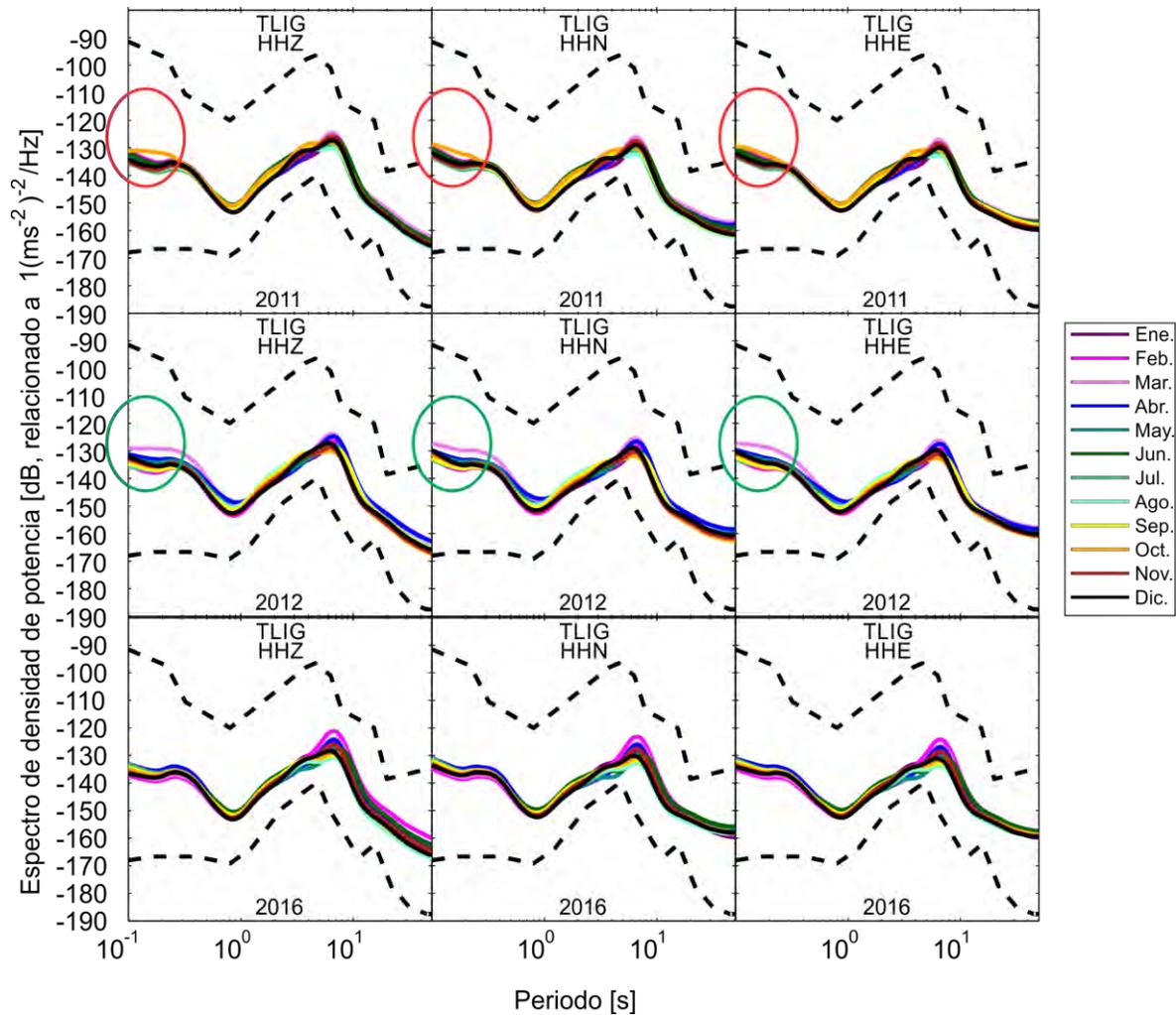


Figura 3.78 Curvas de ruido mensuales para la estación TLIG .Dentro de la elipse roja se muestra el aumento de la curva de ruido ocurrido en octubre de 2011. La elipse verde resalta el aumento de la curva de ruido en febrero de 2012. En el gráfico del año 2016 se puede observar como febrero el pico de olas oceánicas es considerablemente más elevado.

TSIG (Topolobampo, Sinaloa)

Esta estación cuenta con registro continuo desde noviembre de 2010. Después de analizar las curvas de ruido de todos los meses durante el tiempo total del registro, se puede observar lo siguiente:

Se observan para las tres componentes la existencia de dos crestas entre 0.3 y 0.5 segundos de periodo y entre 0.8 y 1 segundos de periodo. Las crestas se acentúan entre los meses de junio a septiembre. Ya que la estación se encuentra dentro de la infraestructura de una termoeléctrica, estos efectos se pueden deber a los procesos realizados por ésta. La componente vertical presenta una cresta entre 0.1 y 0.2 segundos de periodo en todos los años. En los primeros nueve meses del año 2016 se observa que esta cresta llega a ser hasta

5 dB menos pronunciada (Figura 3.79). Estos efectos probablemente también se atribuyen principalmente a contribuciones culturales del lugar.

Asimismo, se observa el pico de olas oceánicas de periodo corto. Este pico se acentúa de octubre a abril. En los meses de julio a septiembre se muestra un pico menos energético.

A partir de junio de 2013 se observa un cambio en la dirección de la curva de ruido a partir de los 3 segundos de periodo en las 3 componentes. Se puede distinguir una caída en la curva de ruido de la componente vertical a partir de los 2 segundos de periodo. La diferencia llega a ser de entre 35 y 50 dB en 50 segundos de periodo. Asimismo, se observa una pequeña disminución en las componentes horizontales aunque no tan pronunciadas como la de la vertical. La diferencia llega a ser de entre 10 y 20 dB en 50 segundos de periodo. Este efecto se debe a problemas instrumentales. Esto se corroboró por el testimonio del personal de instrumentación del SSN. El problema fue un digitalizador dañado, lo que provocó que se tuviera que realizar un cambio de digitalizador, de un Quanterra modelo Q330 a un Quanterra Q330S (Figura 3.79).

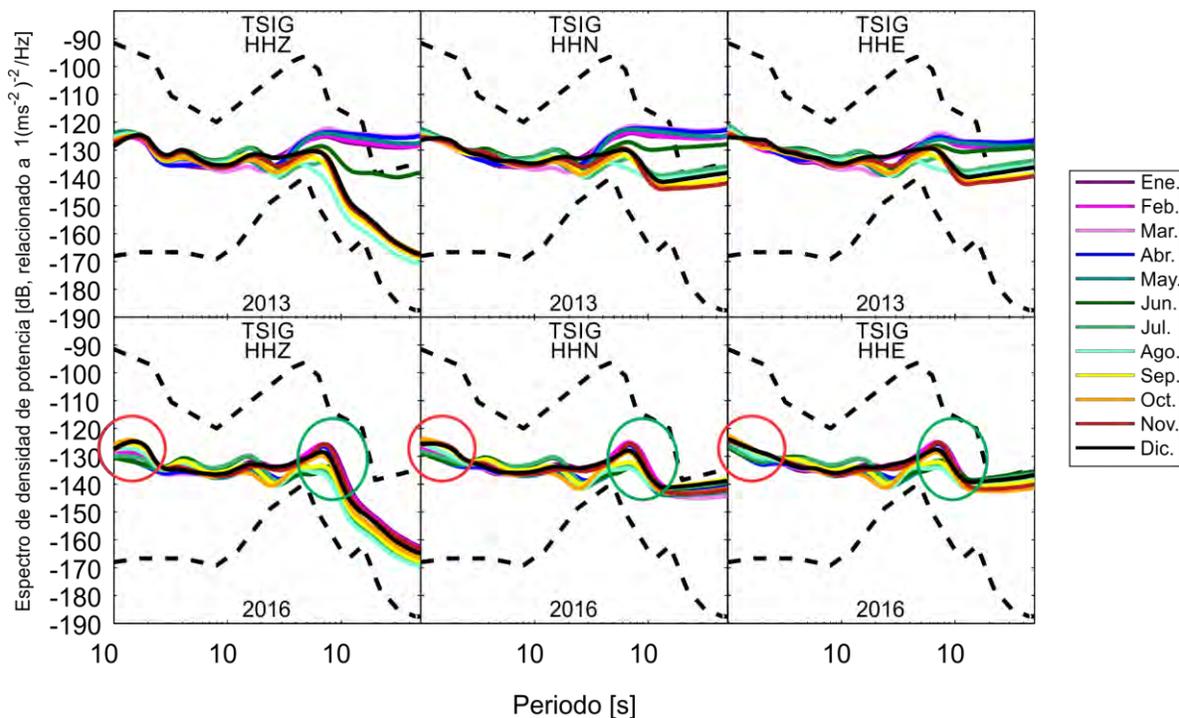


Figura 3.79 Curvas de ruido mensuales para la estación TSIG. Cada renglón representa un año y cada columna una componente. (Arriba) En el año 2013 presenta el cambio en la curva de ruido. Es probable que esto se deba a un cambio de un digitalizador defectuoso. (Abajo) Dentro de la elipse roja el decremento de la curva de ruido en los primeros 9 meses de 2016. La elipse verde resalta el comportamiento del pico de olas oceánicas de periodo corto.

4 Discusión y Conclusiones

A partir del análisis realizado para el año 2016 de las 63 estaciones de la Red de Banda Ancha, en el Capítulo 3, se puede concluir que las condiciones de la red respecto a los niveles de ruido propuestos por Peterson (1993) son aceptables (Figura 4.1), principalmente en periodos menores de 10 segundos, mientras que en periodos superiores se observa que principalmente algunas curvas de las componentes horizontales, rebasan el NHNM.

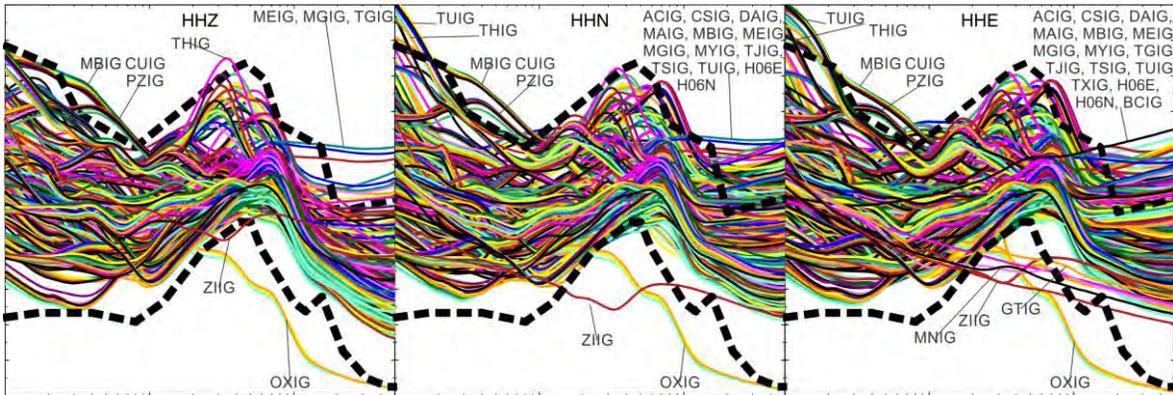


Figura 4.1 Mediana de ruido mensual de todas las estaciones analizadas en el año 2016.

Las estaciones que sobrepasan los niveles de ruido del HNMN en periodos menores que 1 segundo y en las tres componentes son CUIG, PZIG y MBIG. Mientras que las estaciones TUIG y THIG sólo sobrepasan el HNMN en las componentes horizontales en estos periodos.

La estación AAIG, la cual tiene 3 años de que se instaló, en el año 2016 muestra una variación en sus niveles ruido entre 0.1 y 1 segundo de periodo al comparar con los dos años anteriores. Por tal motivo es conveniente el darle un seguimiento y saber si estos cambios prevalecen, y de ser así, saber qué es lo que generó este cambio.

La estación ANIG, como ya se vio en la Sección 0, presentó un aumento temporal en su curva de ruido entre 0.1 y 1 segundos de periodo debido a la construcción de una carretera cercana a ésta. Terminado el periodo de construcción, la curva de ruido dejó de presentar este aumento, ya que la carretera no se encuentra aún en funcionamiento. Para las futuras curvas de ruido a obtener de la estación, se recomienda seguir monitoreando este rango de la curva de ruido con el efecto de verificar si existen variaciones a causa de un incremento del flujo de vehículos en dicha carretera.

La estación IGIG fue la única estación de las 19 analizadas que en toda su cronología mostró un aumento permanente de la curva de ruido a partir de la construcción de edificios, estadios y una carretera cercana. En esta estación se fue aumentando el nivel de ruido en el

rango de periodo donde contribuyen mayormente las fuentes culturales. Durante el año 2016 se construyeron dos edificaciones del Colegio de Estudios Científicos y Tecnológicos del Estado de Guanajuato (CECyTEG) “Plantel Irapuato II”, el cual está cercano a la estación. Debido a esto, es recomendable seguir observando la curva de ruido en un futuro para saber si la curva aumenta en el nivel de ruido.

Otro caso interesante resulta ser el de la estación MOIG, la que tuvo un aumento de 25 dB en el mes de diciembre de 2016 a causa de la construcción de un edificio a unos cuantos metros de la estación. En esta estación también es recomendable estar pendiente de si existe un aumento en los niveles de ruido de próximas curvas realizadas.

Hubo otras estaciones, como es el caso de ARIG, TLIIG y MEIG, que mostraron cambios en la curva de ruido sólo durante ciertos meses en años particulares en periodos menores que 1 segundo. En general, estas variaciones no mostraron un patrón en el aumento de ruido y no sobrepasaron los 5 dB de diferencia; tampoco se tuvo un registro o algún dato que ayudara a saber con certeza las razones de los cambios en la curva de ruido. A pesar de eso, debido al rango de afectación, el posible motivo son principalmente las variaciones de las fuentes culturales, dado que existen poblados y carreteras cercanas a estas estaciones. En el caso de MEIG también está la presencia de un río, lo cual es otra fuente que pudo contribuir a la variación del ruido en estos rangos de periodo.

Las estaciones MBIG y TUIG, aparte de presentar valores altos de ruido en periodos pequeños, también presentaron valores altos en periodos mayores de 1 segundo, por esto es fundamental para ambas la manera de poder disminuir sus niveles de ruido. Una opción es colocar foamular, otra opción para estas dos estaciones sería buscar la manera de reubicarlas. De no ser viable la reubicación debido a valoración de costo-beneficio, otra opción sería el instrumentar con sensores de menor sensibilidad.

A partir de estos análisis realizados a las curvas de ruido obtenidas, se reafirma que las estaciones que cuentan con niveles altos de ruido en periodos mayores que 1 segundo son causadas principalmente por variaciones ambientales. Por otro lado, a pesar de que la mayoría de las casetas son de construcción robusta, esto no evita que ciertas estaciones detecten fuentes de ruido ambiental, de tal manera de que sus curvas de ruido llegan a sobrepasar el NHHM propuesto por Peterson (1993) en periodos mayores de 1 segundo de periodo.

En el caso de las estaciones con afectaciones instrumentales, en el último año evaluado, son sólo 10 las que muestran variaciones en las curvas a partir de estos problemas. Los problemas observables en la mayoría de las estaciones afectadas se dieron en una componente, y pocas fueron las que tuvieron dos o tres componentes simultáneamente. La duración de estos problemas no fue mayor de 5 meses. Esto indica que la calidad de la transferencia de datos y el correcto funcionamiento de los equipos de instrumentación de las estaciones en la RBA en el año 2016 fue buena. Esto se logra a partir del constante monitoreo que se realiza del funcionamiento de las estaciones.

Por otro lado, para las estaciones LNIG y MEIG, en el año 2017 fueron sustituidos sus sensores en los meses de agosto y octubre, respectivamente, a partir de estos cambios las curvas de ruido han recuperado el comportamiento que habían presentado en el análisis histórico que se muestra en el Anexo I. Esto reafirma la suposición de que en el año 2016 ambas estaciones sufrieron de problemas instrumentales.

La estación TGIG, es la única estación que ha presentado un problema instrumental constante, aunque éste no interfiere en su objetivo. Dado que desde su instalación siempre ha tenido el mismo sensor sísmico y digitalizador, una forma de poder comprobar el posible problema instrumental que provoca la similitud inusual de la componente vertical con una componente horizontal, es el poner otro sensor midiendo al mismo tiempo que el ya instalado y procesar las curvas de ruido para así comparar si el comportamiento de las curvas de ruido entre las componentes de los sensores es similar o muestra diferencias.

En casos particulares, como el de la estación de CUIG, las complicaciones instrumentales han sido persistentes y es a partir de análisis como estos que se pueden monitorear de forma constante la calidad de la estación, de esta manera se puede tener la certeza de que será de utilidad en el momento de que se presente un sismo cercano a ésta o de magnitud tal que la estación pueda detectar el evento sísmico.

De acuerdo con el análisis, se observó en las curvas de todas las estaciones que el pico de olas oceánicas de periodo corto, ubicado entre 4 y 8 segundos de periodo, es más energético entre los meses de noviembre a abril, mientras que en el resto del año el pico es menor. En este año en particular, se vio que, para la mayoría de las estaciones, predominó la curva del mes de febrero como la más energética para ese pico. En algunas estaciones, la diferencia entre los picos de las curvas de invierno contra los del resto del año es muy marcada. Las estaciones con diferencia marcada fueron las estaciones que se encuentran en el noroeste de la república, especialmente las de los estados de Baja California y Sonora, así como la estación CGIG que se ubica en Chihuahua, la cual es la estación más cercana del estado de Chihuahua al estado de Sonora. Por otro lado, en los estados centrales del país apenas se observó dicha diferencia. Para las estaciones que se encuentran al sur, esta diferencia casi no es notoria.

Los microsismos se relacionan con la transmisión de energía de las capas de agua a un medio sólido como son las costas, a los que se le llaman microsismos de frecuencia simple; también se relacionan con la energía que se presenta en el fondo del océano debido a la interacción de las olas, llamados microsismos de doble frecuencia. Saber con exactitud todas las fuentes que contribuyen a la generación de microsismos es complejo (Gordeev, 1990). A pesar de eso, se sabe que los microsismos son generados principalmente por fluctuaciones de la presión atmosférica, aunque también las tormentas y el oleaje oceánico son otros fenómenos con los que se relacionan (Gualtieri et al., 2014).

Los microsismos de doble frecuencia dependen de la frecuencia de la onda y de la profundidad donde se generan. En aguas someras la compresibilidad del agua se desprecia, mientras que a grandes profundidades la cantidad de agua desplazada de forma vertical

toma en cuenta la compresibilidad del agua, tomando en cuenta las ondas Stoneley (ondas superficiales que se propagan sobre una interfaz sólido-fluido) producido por un campo de ondas oceánicas que contienen componentes de ondas opuestas.

Dada la ausencia de observaciones directas del choque de las olas en océano abierto, se han utilizado correlaciones entre la altura de las olas, modelos de movimiento de olas, observaciones sísmicas continentales, observaciones de mar de fondo de océano y observaciones barométricas de la atmósfera. Estos estudios encuentran una relación entre la altura de las olas y las amplitudes sísmicas, sugiriendo una relación entre el mar de fondo oceánico y los microsismos. Las fuentes de los microsismos se encuentran al norte de los océanos Pacífico y Atlántico, según estudios realizados en estos océanos. En el océano Atlántico se ha encontrado que estas fuentes incrementan en temporada de invierno. Se ha localizado la generación de microsismos a más de 1000 km fuera de la costa. También se ha encontrado que es más eficiente el norte del océano Atlántico que el del Pacífico para producir microsismos, especialmente al sur de Groenlandia (Kedar et al., 2008).

En sí, las fuentes de ruido más fuertes provienen de fondo del océano y la reflexión de las costas genera numerosas fuentes pequeñas. Las olas oceánicas se atenúan exponencialmente con la profundidad, por lo que éstas no pueden alcanzar el fondo del océano. Por otro lado, cualquier par de tren de olas oceánicas puede combinarse para producir fluctuaciones de presión con una frecuencia y número de onda que es la suma o la diferencia de estos trenes de onda. Estos trenes de onda con dirección contraria y frecuencia iguales darán resultado a una fluctuación de presión de segundo orden que tiene el doble de frecuencia que las olas oceánicas, las cuales alcanzarán el fondo del océano. Estas fluctuaciones de presión son las que originan los microsismos secundarios al acoplarse con el fondo oceánico (Stutzmann et al., 2012).

A partir de estos conocimientos se realizó una búsqueda de algún fenómeno meteorológico que se asociara con los comportamientos de los microsismos observados durante el año 2016, encontrando en el “Reporte de Clima en México” del año 2016 publicado por el Servicio Meteorológico Nacional. En este documento se explica que:

“Las condiciones de El Niño generaron que la baja Aleutiana fuera más intensa de lo normal, lo que provocó que la circulación atmosférica sobre América del Norte fuera más activa. Esta circulación propició el desarrollo de intensas vaguadas en niveles altos y el paso de sistemas de baja presión sobre Estados Unidos. Un canal de baja presión estuvo presente sobre el noroeste de México durante la mayor parte del mes, sin embargo la escasa entrada de humedad sobre la región no permitió el desarrollo de nublados que generaran precipitaciones”. (Figura 4.2; Servicio Meteorológico Nacional, 2016).

Otro fenómeno que ocurre en la frontera de México con Estados Unidos en la zona del Pacífico son fuertes vientos llamados vientos de Santa Ana (SAW, por sus siglas en inglés), estos son flujos de viento que se originan entre el sur de California y el norte de Baja California. Estos vientos se comportan de forma estacional, siendo más energéticos en temporadas frías, como el invierno y menores en temporadas calurosas, como el verano. Estos alcanzan su pico en velocidad generalmente entre los meses de diciembre y enero,

meses con menos luz solar y noches más largas, lo que produce grandes masas de aire frío en la Gran Cuenca en Nevada. Estos meses también presentan un pico debido a los fuertes gradientes de presión, los generadores de vientos más energéticos (Guzman-Morales et al., 2016).

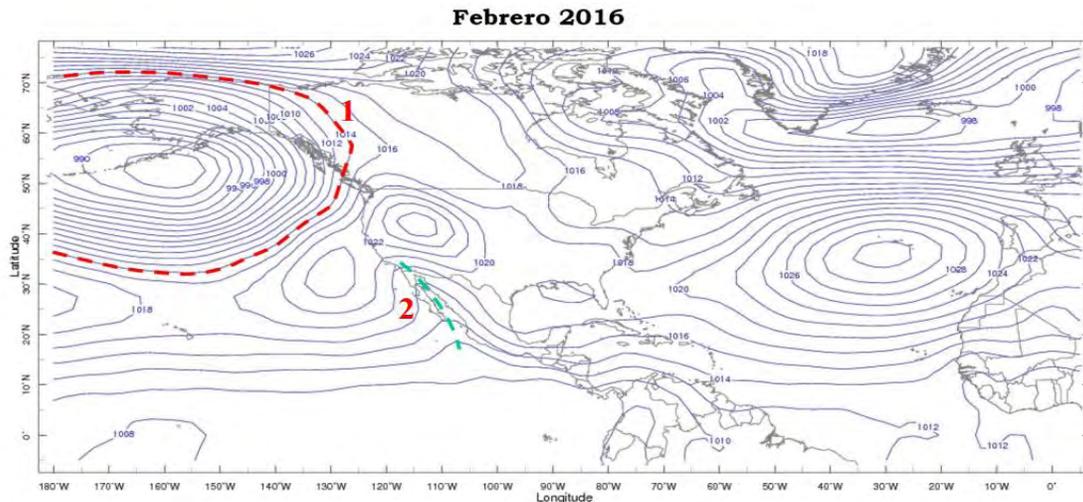


Figura 4.2 (1) Sistema de baja presión Aleutiana al noroeste de los estados Unidos y (2) canal de baja presión sobre el noroeste de México durante febrero de 2016 (Figura tomada del reporte mensual del SMN, 2016).

Relacionando los patrones de los microsismos de periodo corto de las estaciones del SSN con los artículos consultados que han analizado el comportamiento de estos microsismos, se pueden confirmar que, tal como dicen éstos, los microsismos son más energéticos en la temporada de invierno. Asimismo, al analizar los microsismos mes con mes durante el año 2016 y junto con los resúmenes mensuales realizados por el SMN para el año de 2016, se encontró que las variaciones atmosféricas anormales reportadas para el mes de febrero se relacionan con los incrementos de las fuentes que generan estos microsismos. Se observó que estos incrementos llegaban a ser más evidentes en algunas estaciones, principalmente las más cercanas al fenómeno que las ocasionaron. En las estaciones restantes, el aumento no es tan marcado, aunque también concuerda con el fenómeno meteorológico que afectó en dicho mes y sobrepasa a los otros meses de invierno que también son energéticos. Esto reafirma que, aunque existen varios factores que aportan a la generación de microsismos, son las variaciones en la presión atmosférica una de las que tiene mayor influencia en la generación de microsismos. Asimismo se sabe que debido al fenómeno de El Niño, que ocurre en los meses de la temporada de invierno, la baja Aleutiana es más energética y esto afecta en mayor medida a las estaciones del noroeste del país, así como también genera los vientos de Santa Ana que se producen en el sur de California. Esto propicia que los microsismos que se generan en invierno sean más energéticos a comparación del resto de las estaciones del año. También se observan diferencias en los periodos largos de estas estaciones afectadas. Para las estaciones más al sureste del país es menos marcada esta

diferencia, aunque se sigue observando que predominan los niveles energéticos en los microsismos de temporada de (SSN, 2018) invierno.

El objetivo de este trabajo es el incluir el análisis de este parámetro en la evaluación de calidad que se realiza a las estaciones, donde los niveles de ruido de las estaciones sean evaluados de forma mensual, para así identificar más fácilmente los problemas que pueda aquejar a la estación. También, a partir de los niveles de ruido estimados se puede determinar un umbral de detección de la RBA, cómo se realiza en el artículo de Rengifo (2006). En este artículo analizan los niveles de ruido de la Red Sismológica Nacional de Colombia (RSNC) y a partir de las amplitudes obtenidas y empleando un modelo de atenuación dan a conocer el umbral mínimo de detección para ésta.

Una posibilidad para estaciones que se encuentren con problemas instrumentales recurrentes, o que se busquen analizar más a detalle, sería el realizar el análisis de forma semanal o diariamente. Otra modificación que podría dar más detalle de información y clasificar mejor los aumentos en los niveles de ruido es aumentar el rango de evaluación a 120 segundos y dividir la gráfica en secciones, tal como lo proponen McNamara et al. (2005). Ellos proponen 11 secciones de banda (0.0625-0.125 s, 0.125-0.25 s, 0.25-0.5 s, 0.5-1.0 s, 1.0-2.0 s, 2.0-4.0 s, 4.0-8.0 s, 8.0-16.0 s, 16.0-32.0 s, 32.0-64.0 s, 64.0-128.0 s) y acomodando para cada sección las estaciones de las más energéticas a las de menor energía. Esto con la intención en que sea más claro cómo cada estación cambia su posición en función del periodo.

Este trabajo es una referencia del comportamiento que ha tenido cada una de las estaciones durante todo su funcionamiento y por consiguiente da la pauta para saber si alguna tiene algún comportamiento irregular en el futuro. Asimismo las curvas obtenidas en conjunto del último año da un modelo particular del comportamiento de las curvas de ruido que se tiene en toda la república y éste puede utilizarse como referencia para futuras nuevas estaciones que puedan instalarse y a las cuales se les realicen pruebas de ruido iniciales para saber la calidad de las señales.

Referencias

- Aki, K. (1957). Space and time spectra of stationary stochastic waves, with special reference to microtremors. *Bulletin of Earthquake Research Institute*, 35, 415-457.
- Beccario, C. (n.d.). *Earth: a global map of wind, weather, and ocean conditions*. Retrieved Octubre 12, 2017, from de <https://earth.nullschool.net/>
- De Angelis, S., & Bodin, P. (2012, Junio). Watching the Wind: Seismic Data Contamination at Long Periods due to Atmospheric Pressure-Field-Induced Tilting. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 102(3), 1255-1265. doi:10.1785/0120110186
- Flores-Vidal, X., Durazo, R., Chavanne, C., & Flament, P. (2011). Circulación costera en ausencia de viento en el golfo de Tehuantepec, México: Observaciones con radares de alta frecuencia. *Ciencias Marinas*, 37(4A), 493-512.
- Gimbert, F., & Tsai, V. C. (2015). Predicting short-period, wind-wave-generated seismic noise in coastal regions. *Earth and Planetary Science Letters*, 426, 280-292. doi:10.1016/j.epsl.2015.06.017
- Gordeev, E. I. (1990). Generation of microseisms in the coastal area. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 63, 201-208.
- Gualtieri, L., Stutzmann, E., Farra, V., Capdeville, Y., Schimmel, M., & Arduin, F. (2014). Modelling the ocean site effect on seismic noise body waves. *Geophysical Journal International*, 197, 1096-1106. doi:10.1093/gji/ggu042
- Guzman-Morales, J., Gershunov, A., Theiss, J., Li, H., & Cayan, D. (2016). Santa Ana Winds of Southern California: Their climatology, extremes, and behavior spanning six and a half decades. *Geophysical Research Letters*, 43. doi:10.1002/2016GL067887
- Havskov, J., & Alguacil, G. (2004). *Instrumentation in Earthquake seismology*. Netherlands: Springer.
- Kedar, S., Longuet-Higgins, M., Webb, F., Graham, N., Clayton, R., & Jones, C. (2008, Enero 8). The origin of deep ocean microseisms in the North Atlantic Ocean. *Proceedings of the Royal Society of London A*, 464, 777-793. doi:10.1098/rspa.2007.0277
- Leckler, F., Arduin, F., Peureux, C., Benatazzo, A., Bergamasco, F., & Dulov, V. (2015). Analysis and Interpretation of Frequency-Wavenumber Spectra of Young Wind Waves. *JOURNAL OF PHYSICAL OCEANOGRAPHY*, 45, 2484-2496.

- McNamara, D. E., & Boaz, R. I. (2005). Seismic Noise Analysis System Using Power Spectral Density Probability Density Functions: A Stand-Alone Software Package. *U.S. Geological Survey, Open-File Report 2005-1438*.
- McNamara, D. E., & Buland, R. P. (2004). Ambient Noise Levels in the Continental United States. *Bulletin of the Seismological Society of America, 94*(4), 1517–1527.
- McNamara, D. E., Buland, R. P., Benz, H. M., & Leith, W. R. (2005). An Assessment of Seismic Noise Levels for the Advanced National Seismic System Backbone Network and Selected Regional Broadband Stations. *U.S. Geological Survey, Open File Report 2005–1077*.
- Moreno Jaramillo, L., & Alfaro Castillo, A. J. (2000). De los Microsismos a los Microtemblores - Investigaciones en el Instituto Geofísico. *Sociedad Colombiana de Geotecnia*.
- National Centers for Environmental Prediction. (n.d.). *National Climatic Data Center*. Retrieved Octubre 17, 2017, from Global Forecast System (GFS): <https://www.ncdc.noaa.gov/data-access/model-data/model-datasets/global-forecast-system-gfs>
- Peterson, J. (1993). Observations and modeling of seismic background noise. *U.S Geological Survey, 93-322*.
- Servicio Meteorológico Nacional. (2016). *Reporte del Clima en México - Febrero 2016*. Servicio Meteorológico Nacional, Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional. Subgerencia de Pronóstico a Mediano y Largo Plazo. Ciudad de México: Comisión Nacional del Agua. Retrieved Septiembre 13, 2017
- Servicio Sismológico Nacional. (1999). *Servicio Sismológico Nacional | UNAM, México*. Retrieved 04 01, 2017, from <http://www.ssn.unam.mx/>
- Solano Hernández, E. A. (2006). Evaluación del efecto de sitio en las estaciones de banda ancha del Servicio Sismológico Nacional. Ciudad de México, Ciudad de México, México.
- SSN. (2018). Servicio Sismológico Nacional, Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México, México. doi:<https://doi.org/10.21766/SSNMX/SN/MX>
- Stein, S., & Wysession, M. (2003). *An introduction to seismology, earthquakes and earth structure*. EEUU: Blackwell publishing.
- Stutzmann, E., Arduin, F., Schimmel, M., Mangeney, A., & Patau, G. (2012). Modelling long-term seismic noise in various environments. *Geophysical Journal International, 191*(2), 707–722. doi:doi: 10.1111/j.1365-246X.2012.05638.x
- Trasviña, A., Barton, E. D., Bronw, J., Velez, H. S., Kosro, P. M., & Smith, R. L. (1995). Offshore wind forcing in the Gulf of Tehuantepec, Mexico: The asymmetric circulation. *Journal of Geophysical Research, 100*(C10), 20,649-20,663.

Young, I. R., & Babanin, A. V. (2006, Junio 24). The form of the asymptotic depth-limited wind wave frequency spectrum. *Journal of Geophysical Research*, *111*(C06031). doi:10.1029/2005JC003398

Anexo I

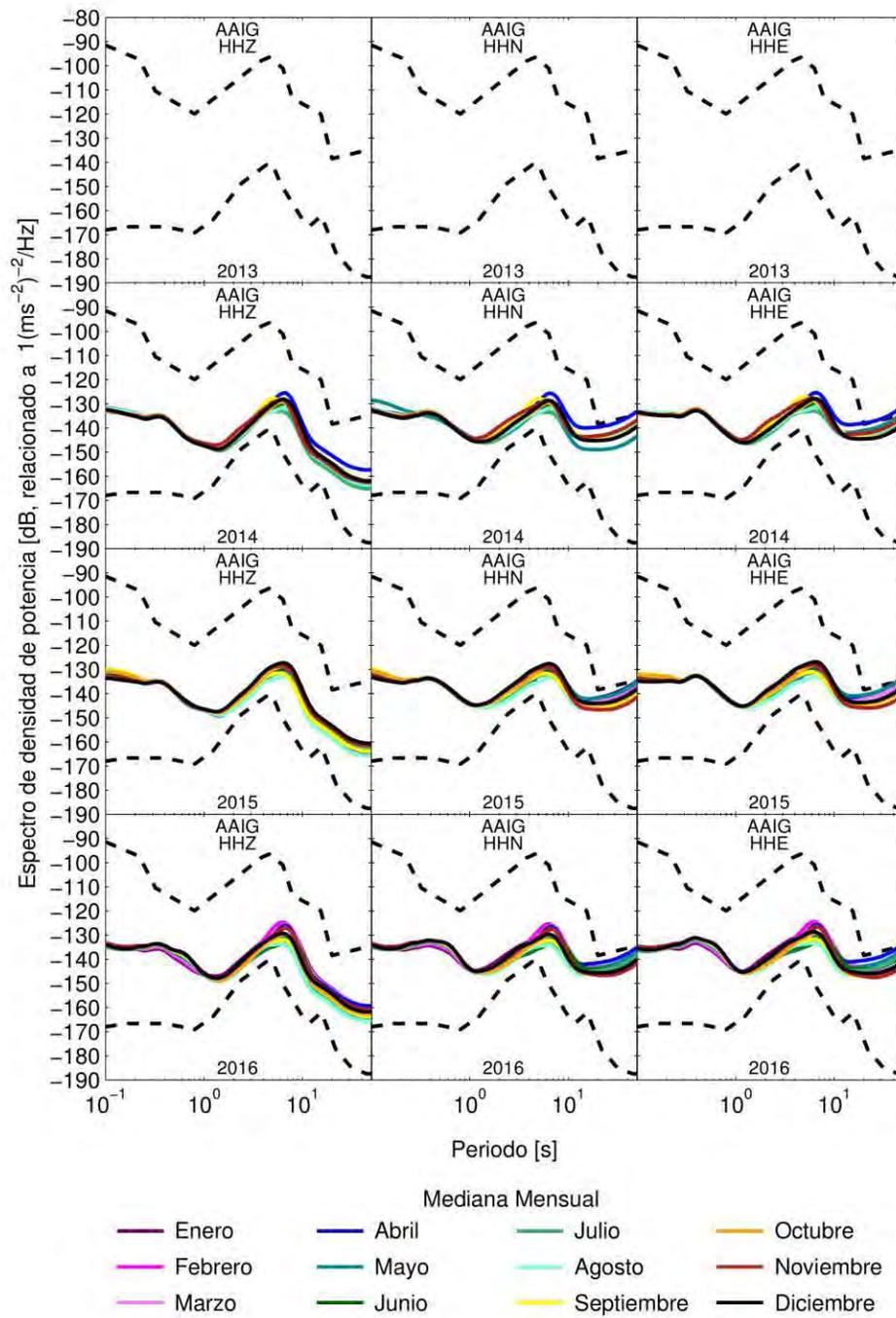
En este anexo se muestran las curvas de ruido de cada estación. Primero se organizan por orden cronológico, donde los renglones corresponden a un año en particular, mientras que las columnas de izquierda a derecha están asignadas para las componentes vertical, norte-sur y este-oeste; cada curva corresponde a un mes del año.

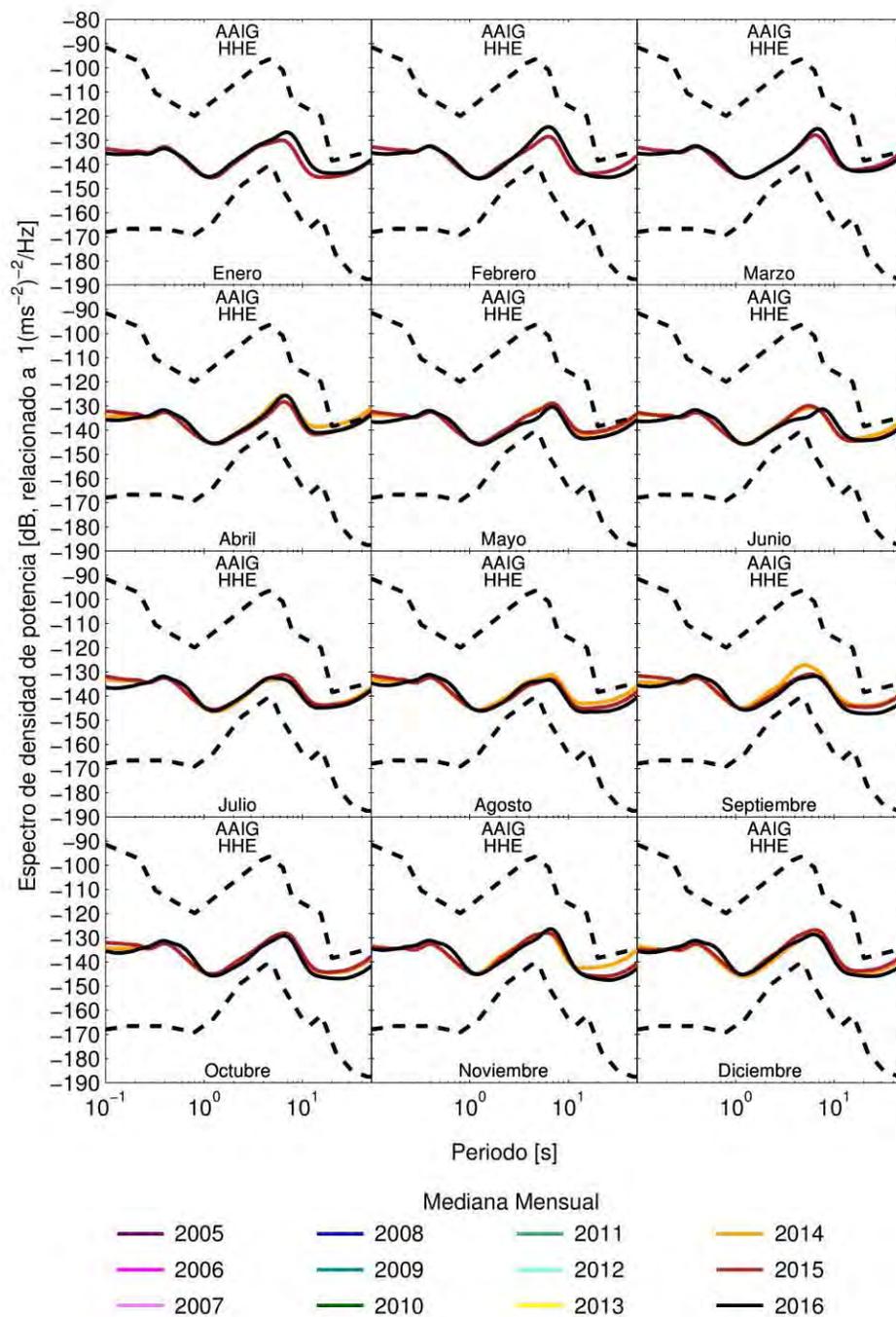
Posteriormente se muestran las mismas curvas pero ahora ordenadas por componentes, donde de arriba a abajo y de izquierda a derecha se muestran los 12 meses que componen un año y cada curva corresponde a un año durante el cual se hayan tenido datos.

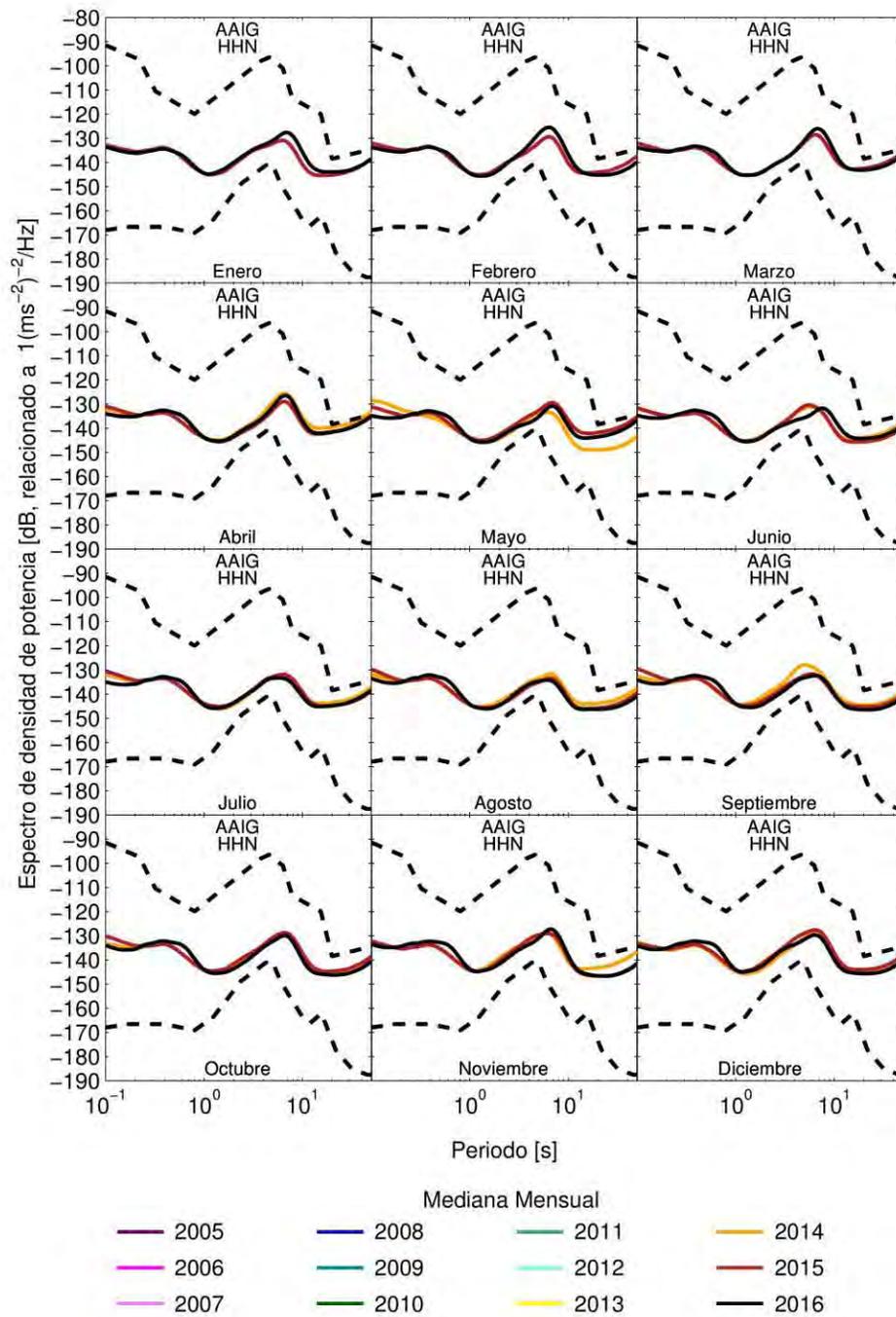
Las estaciones se encuentran organizadas por orden alfabético. Para referencia de las claves de las estaciones y su ubicación se listan a continuación todas las estaciones con las que cuenta, al momento de realizar este trabajo, la RBA del SSN.

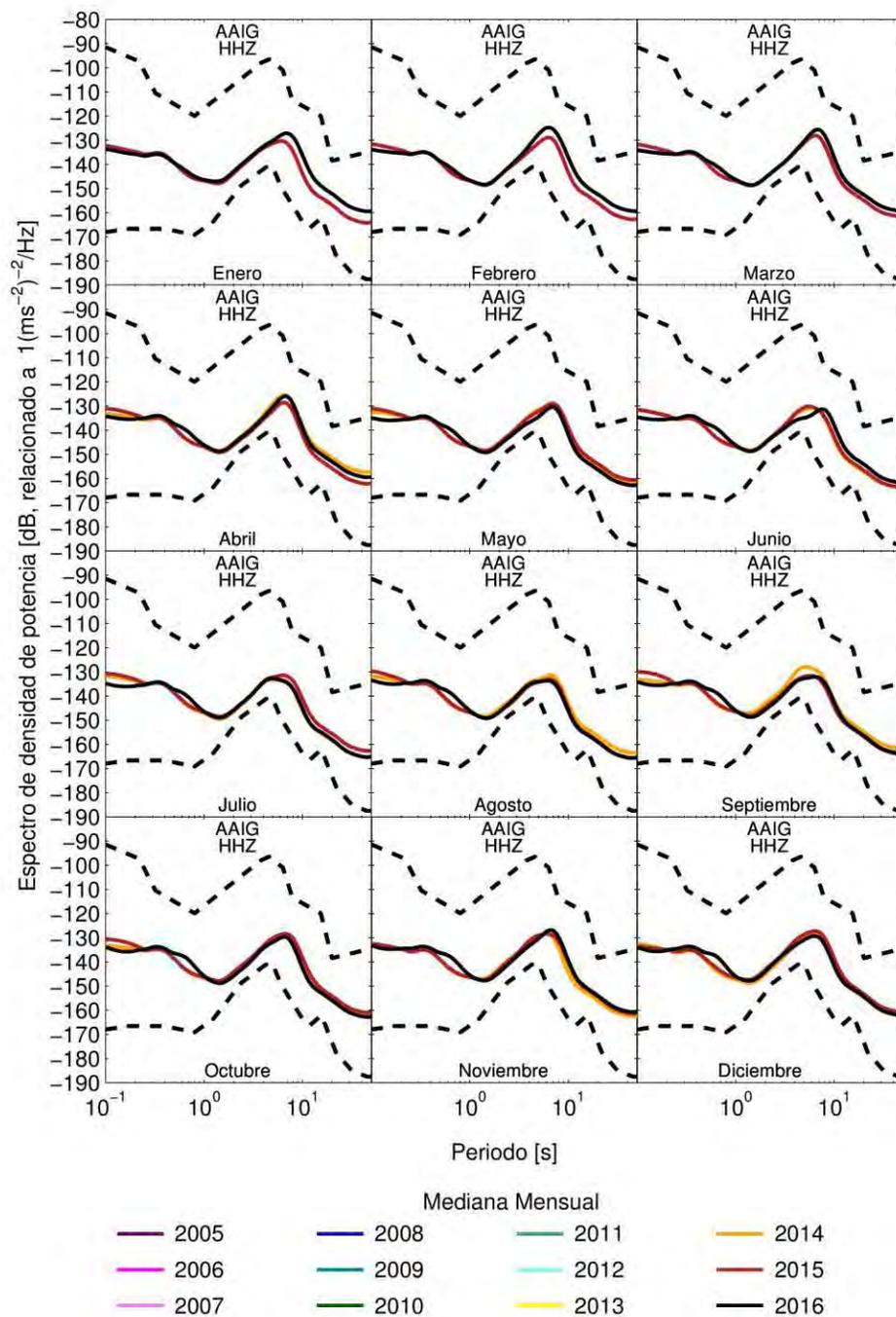
Red de Banda Ancha del Servicio Sismológico Nacional

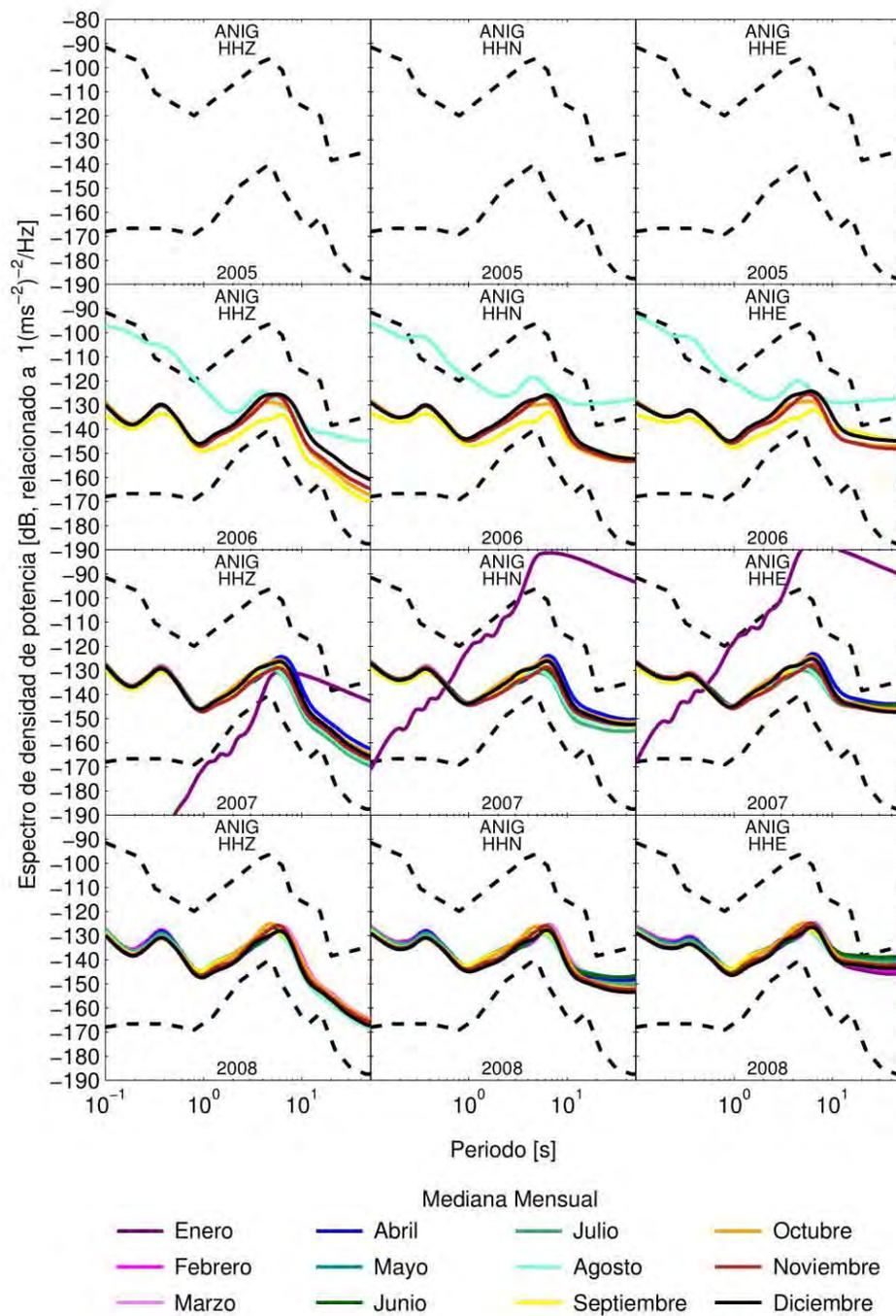
AAIG	Aguascalientes, Ags	GTIG	Gomez Farías, Tamaulipas	MNIG	Monterrey, Nuevo León	SSIG	Sanalona, Sinaloa
ACIG	Acambay, Edo de Mex	HLIG	Huajuapán de León, Oaxaca	MOIG	Morelia, Michoacán	TAIG	Tacubaya, D.F.
ANIG	Ahuacatlán, Nayarit	HPIG	Hidalgo del Parral, Chihuahua	MYIG	Merida, Yucatán	TEIG	Tepich, Quintana Roo
ARIG	Arcelia, Guerrero	HSIG	Hermosillo, Sonora	NZIG	Nacoziari, Sonora	TGIG	Tuxtla Gutiérrez, Chiapas
BCIG	La Boquilla, Chihuahua	HUIG	Huatulco, Oaxaca	OXIG	Oaxaca, Oaxaca	THIG	Tapachula, Chiapas
CAIG	Cayaco, Guerrero	IGIG	Irapuato, Guanajuato	PCIG	Pijijiapan, Chiapas	TJIG	Tijuana, Baja California
CCIG	Comitán, Chiapas	JRQ	Juriquilla, Querétaro	PDIG	Papasquiari, Durango	TLIG	Tlapa, Guerrero
CGIG	Casas Grandes, Chihuahua	LNIG	Linares, Nuevo León	PEIG	Puerto Escondido, Oaxaca	TOIG	San Martín Toxpalán, Oaxaca
CJIG	Chamela, Jalisco	LPIG	La Paz, Baja California Sur	PLIG	Platanillo, Guerrero	TPIG	Tehuacan, Puebla
CMIG	Matías Romero, Oaxaca	LVIG	Laguna Verde, Veracruz	PNIG	Pinotepa Nacional, Oaxaca	TSIG	Topolobampo, Sinaloa
CRIG	Cruz Grande, Guerrero	MAIG	Mazatlán, Sinaloa	PPIG	Popocatepetl, Edo. de Mex.	TUIG	Tuzandepetl, Veracruz
CSIG	Choix, Sinaloa	MBIG	Mexicali, Baja California	PZIG	Pozo, D.F.	TXIG	Tlaxiaco, Oaxaca
CUIG	Ciudad Universitaria, D.F.	MCIG	Múzquiz, Coahuila	RPIG	Río Verde, San Luis Potosí	YAIG	Yautepec, Morelos
DAIG	Dos Arrollos, Guerrero	MEIG	Mezcala, Guerrero	SCIG	Sabancuy, Campeche	YOIG	Santiago Yosondúa, Oaxaca
DHIG	Demacú, Hidalgo	MGIG	Malinaltepec, Guerrero	SPIG	San Pedro Mártir, Baja California	ZAIG	Zacatecas, Zacatecas
FTIG	Fresnillo de Trujano, Oaxaca	MMIG	Maruata, Michoacán	SRIG	Santa Rosalía, Baja California Sur	ZIIG	Zihuatanejo, Guerrero

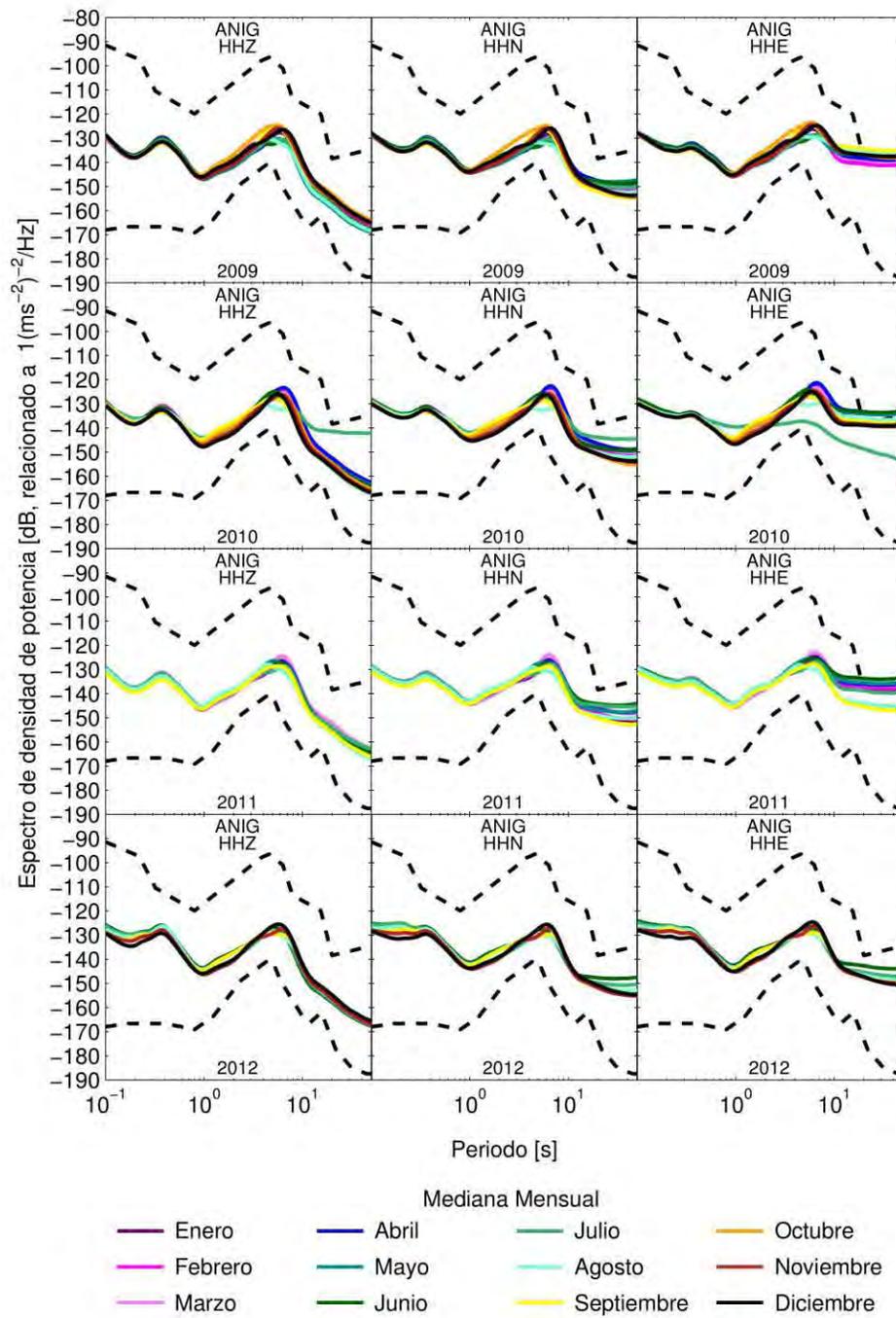


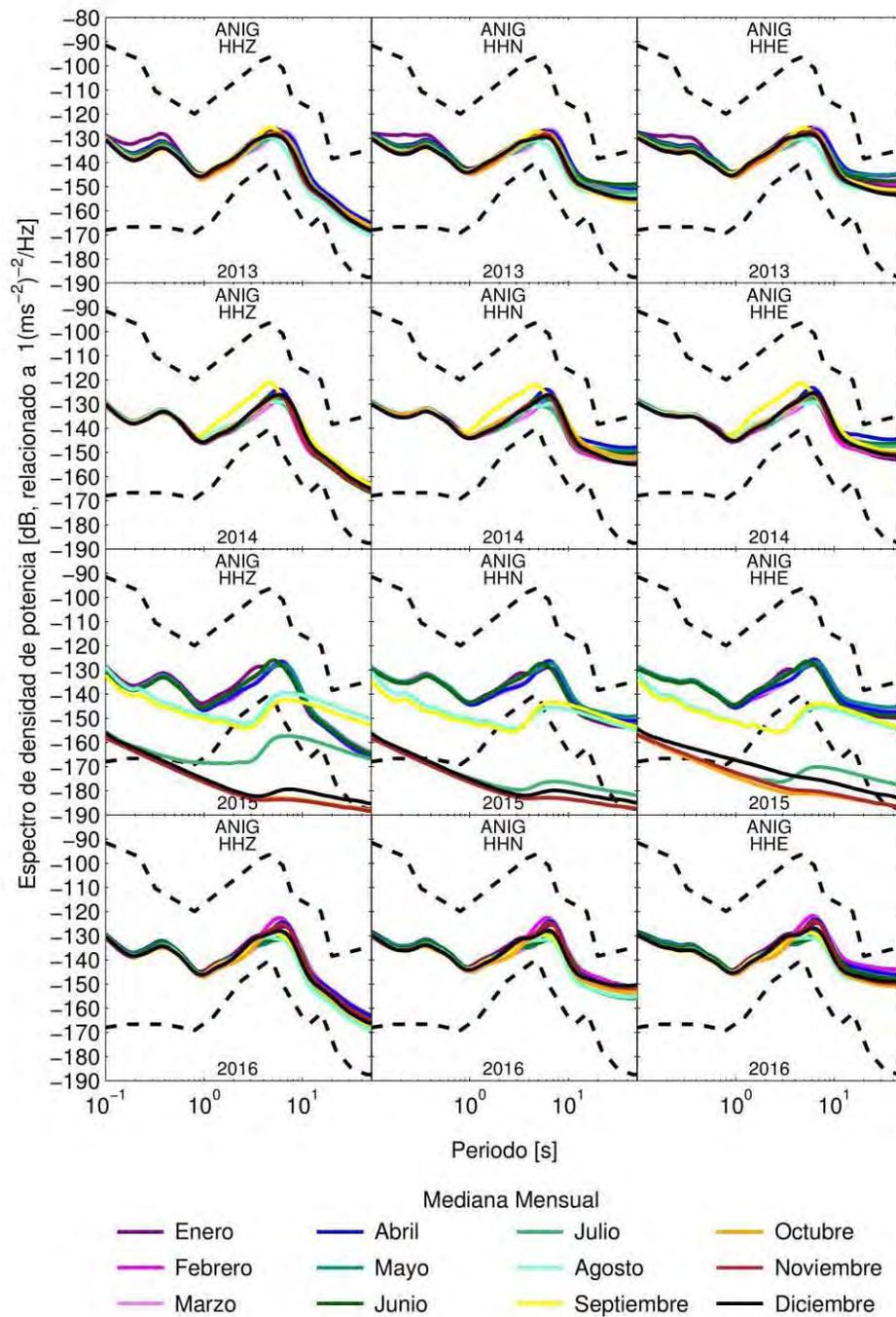


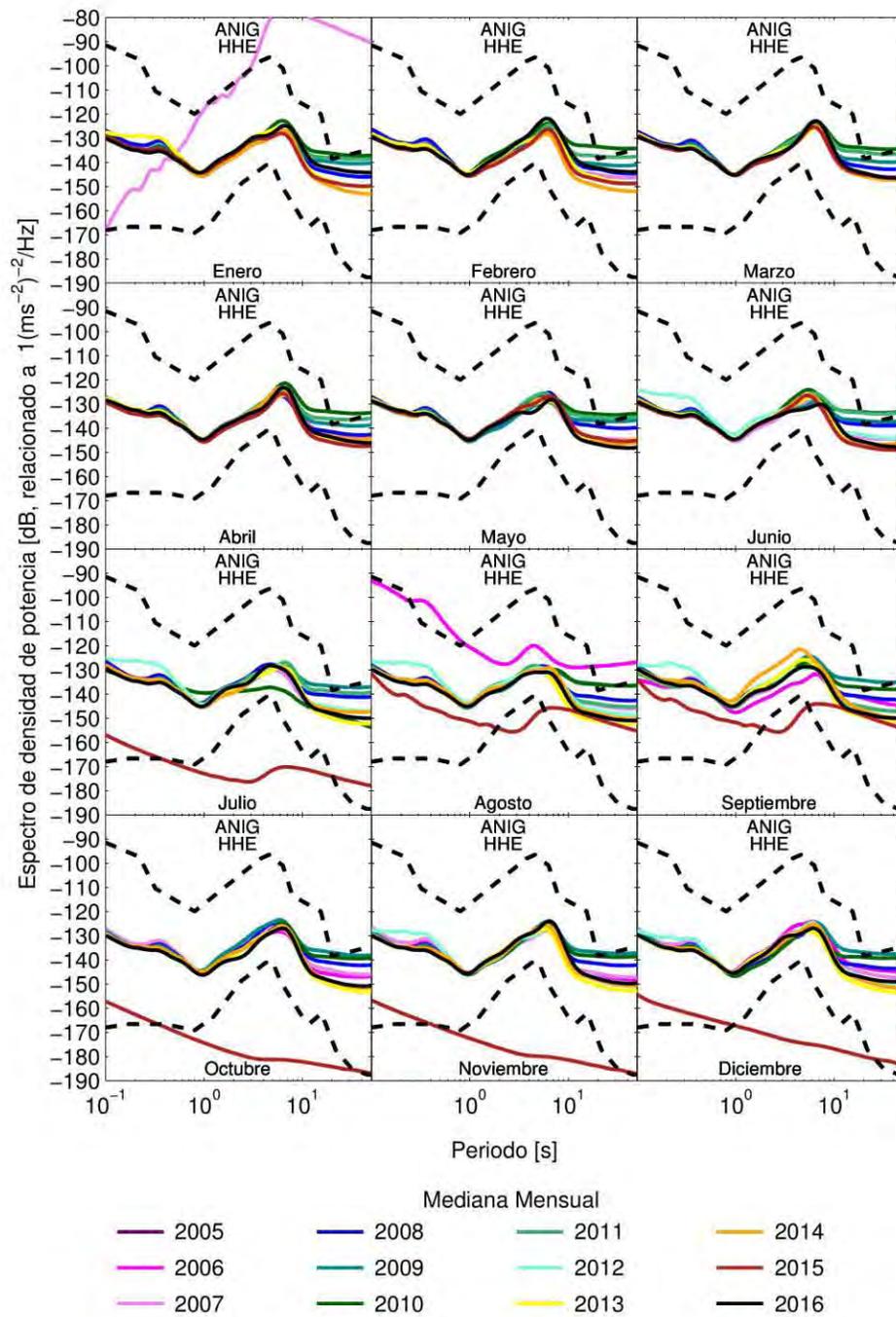


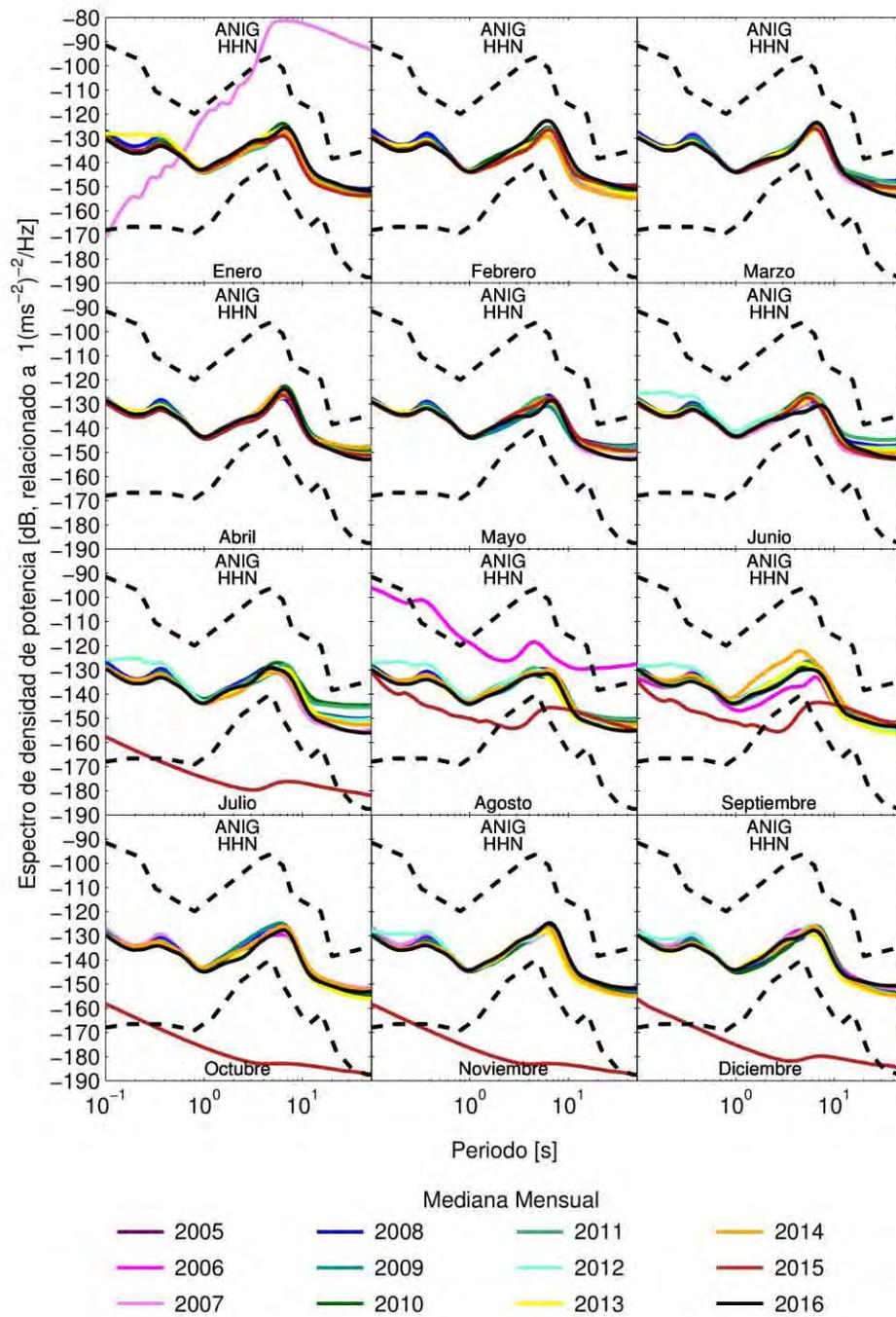


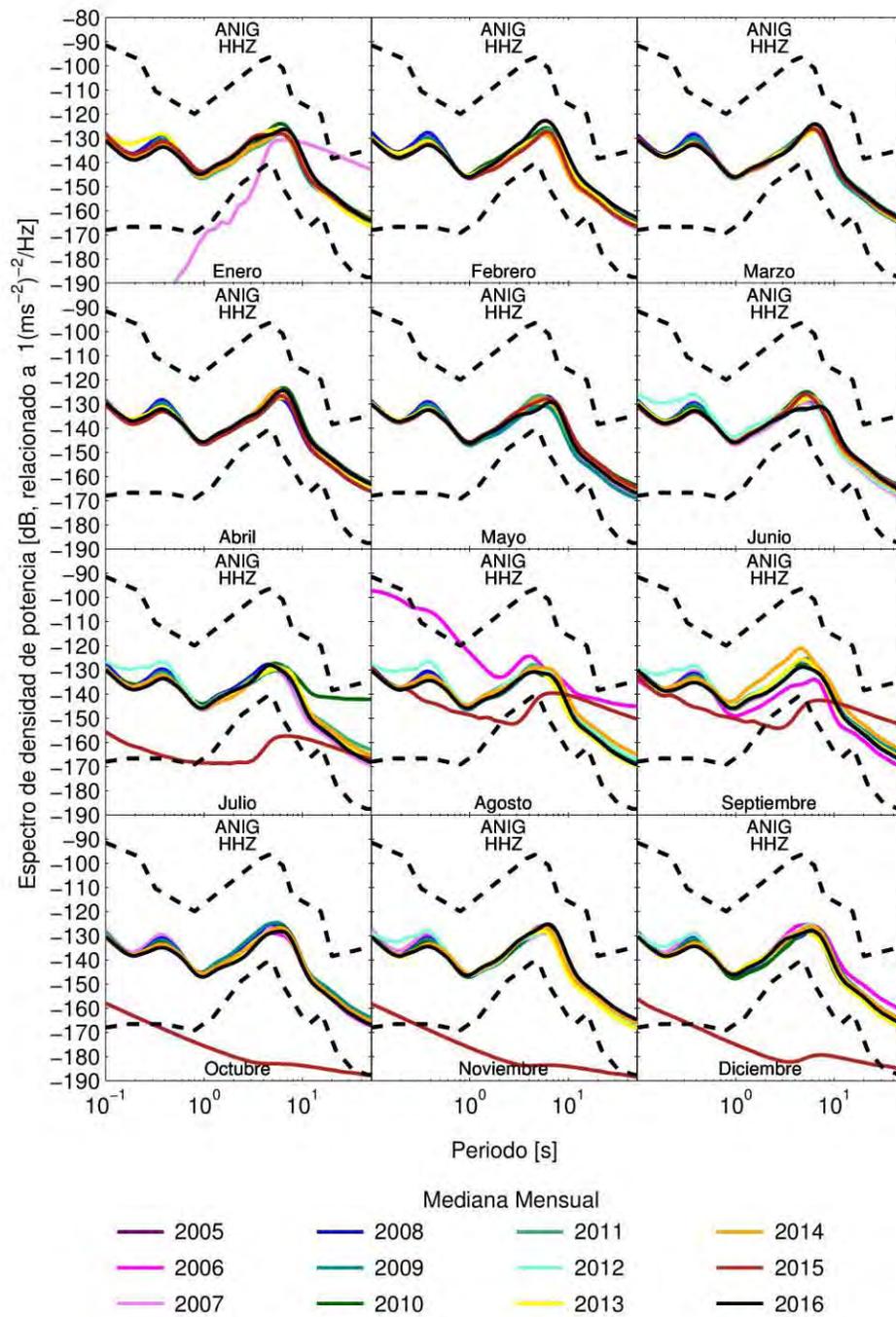


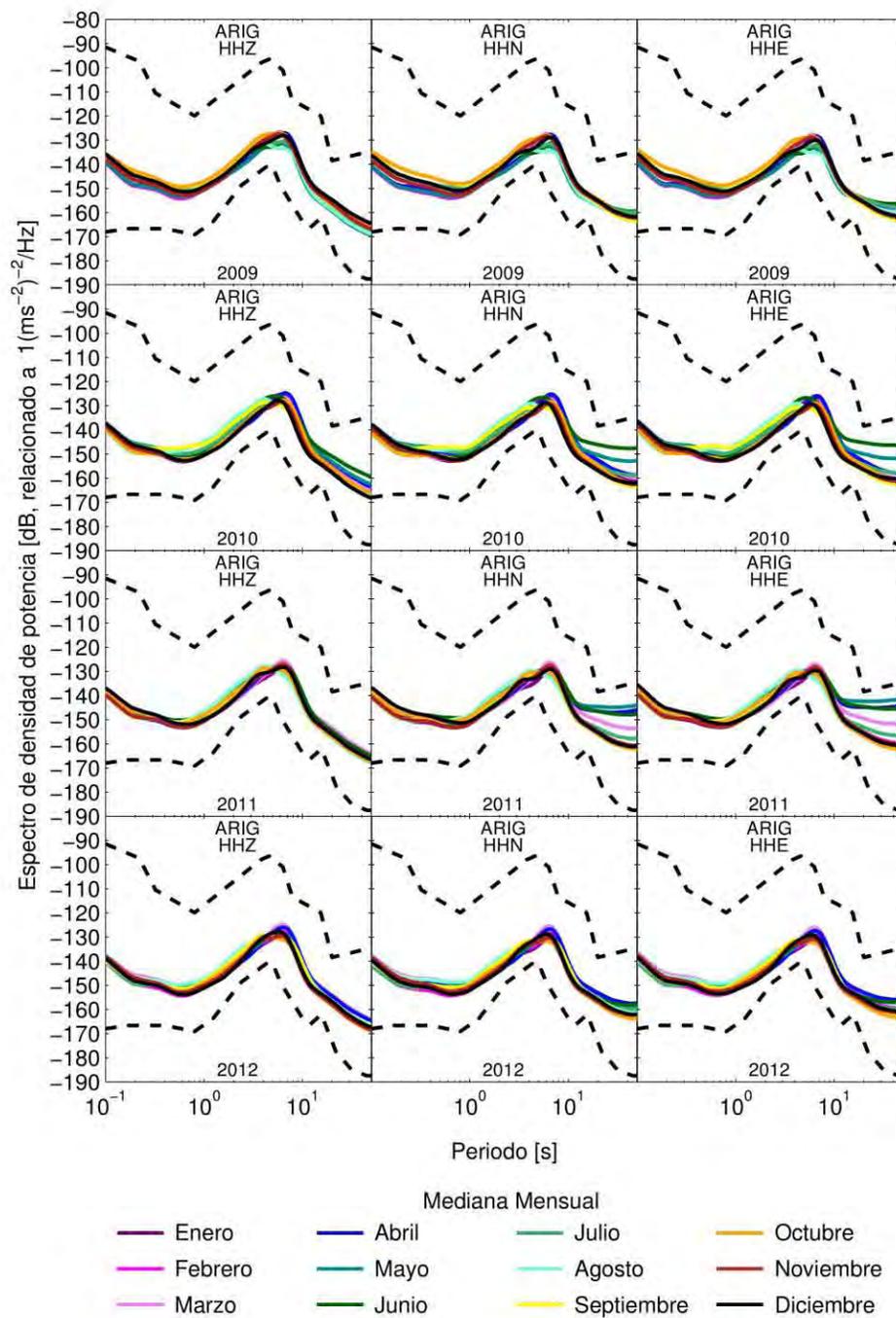


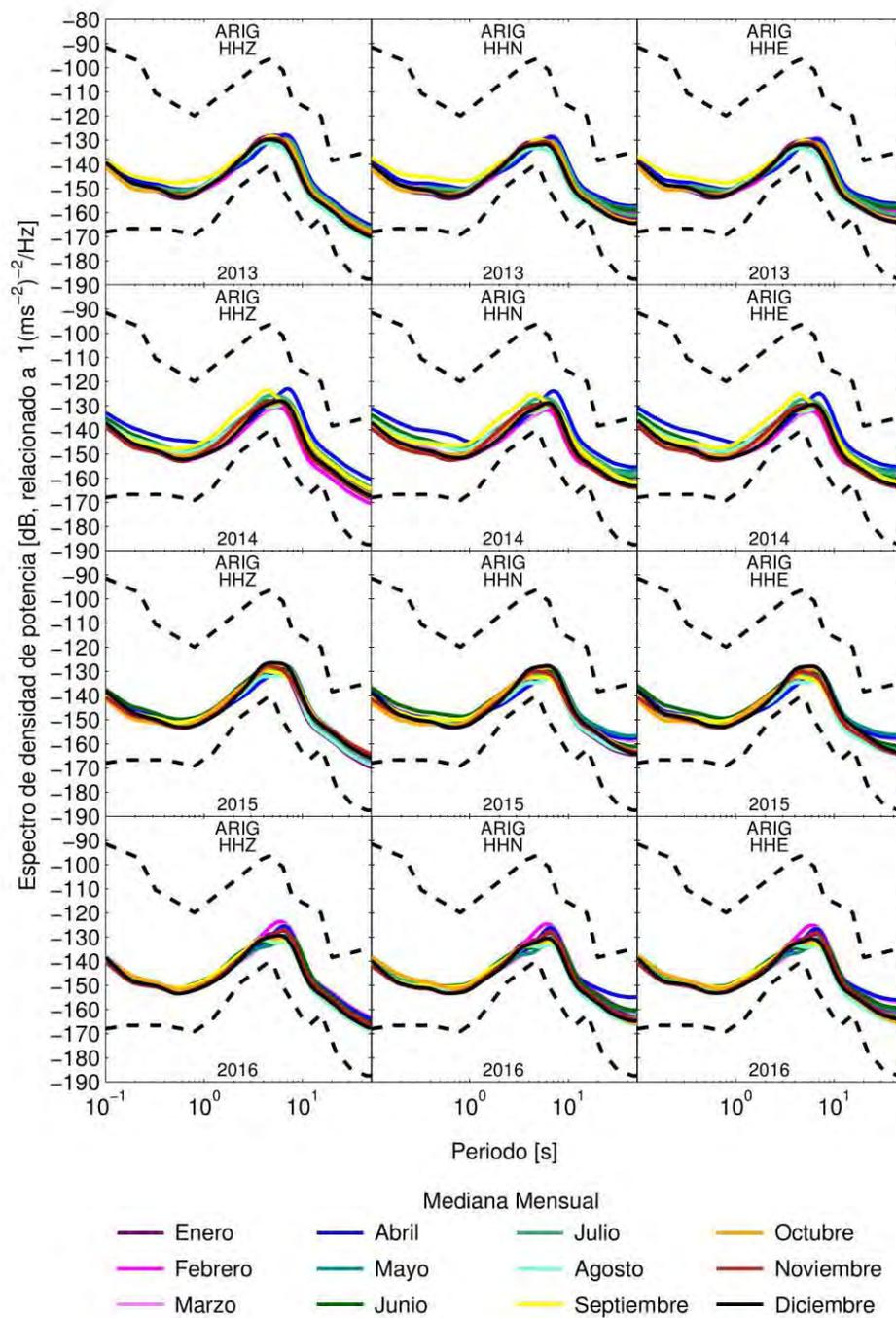


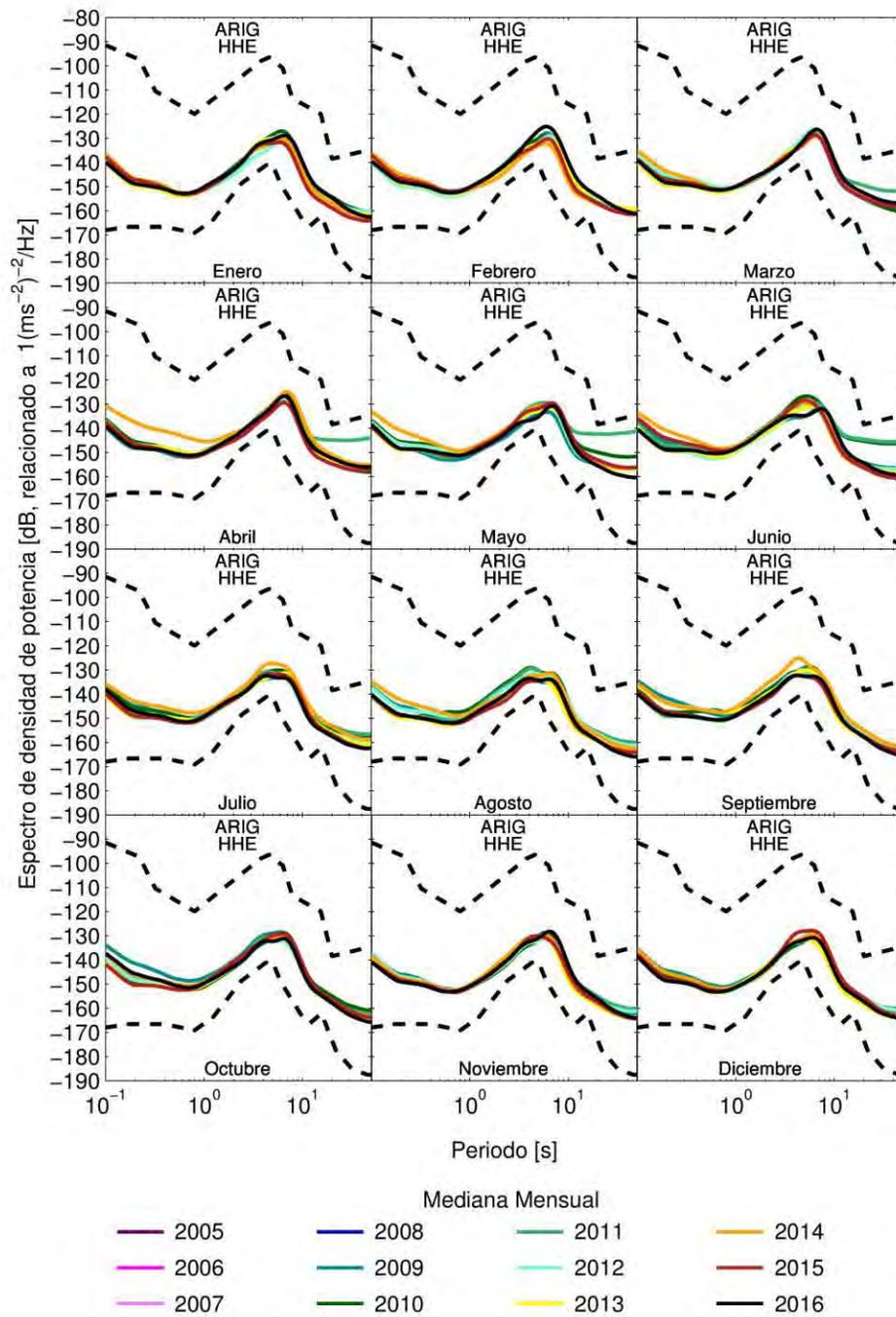


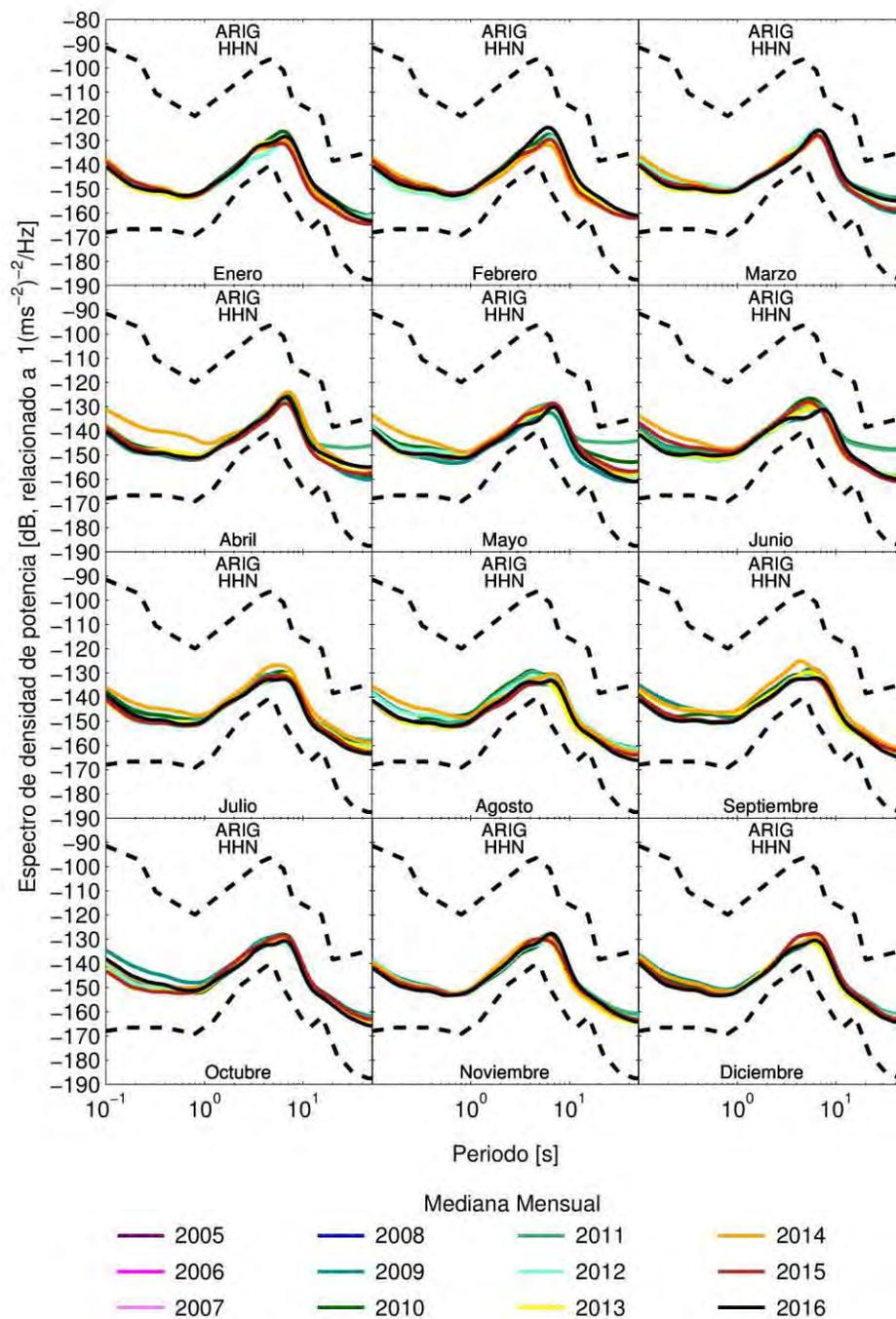


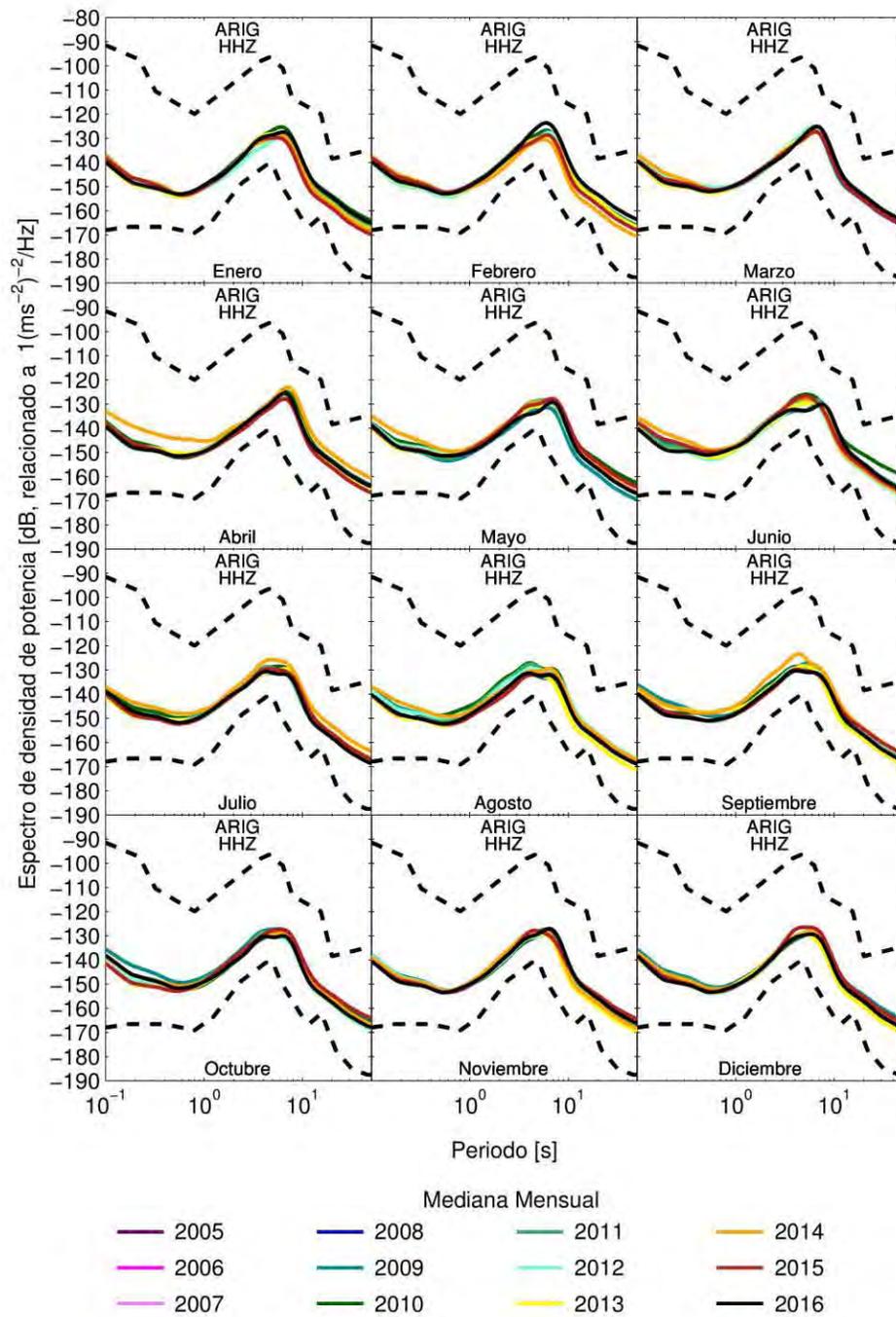


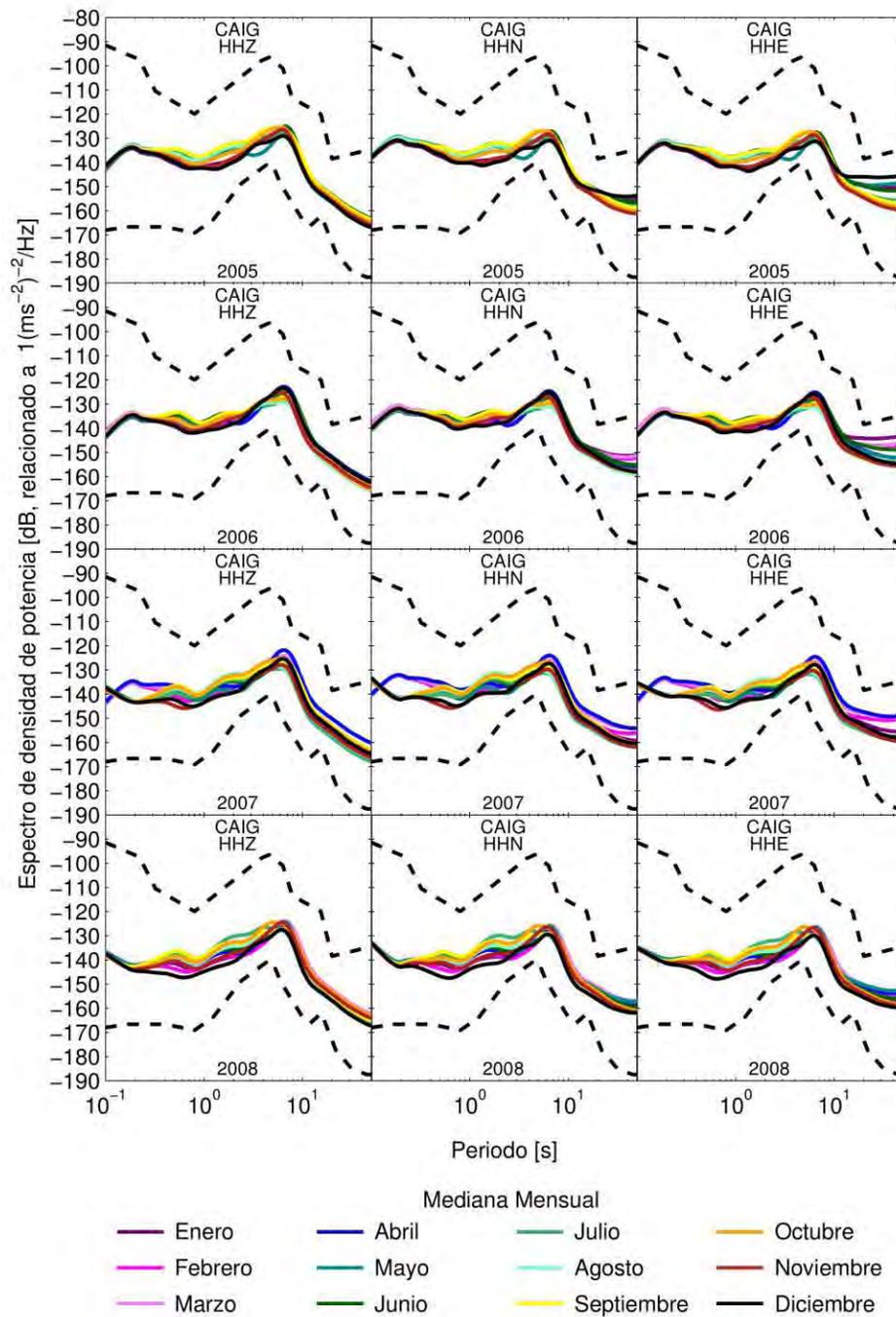


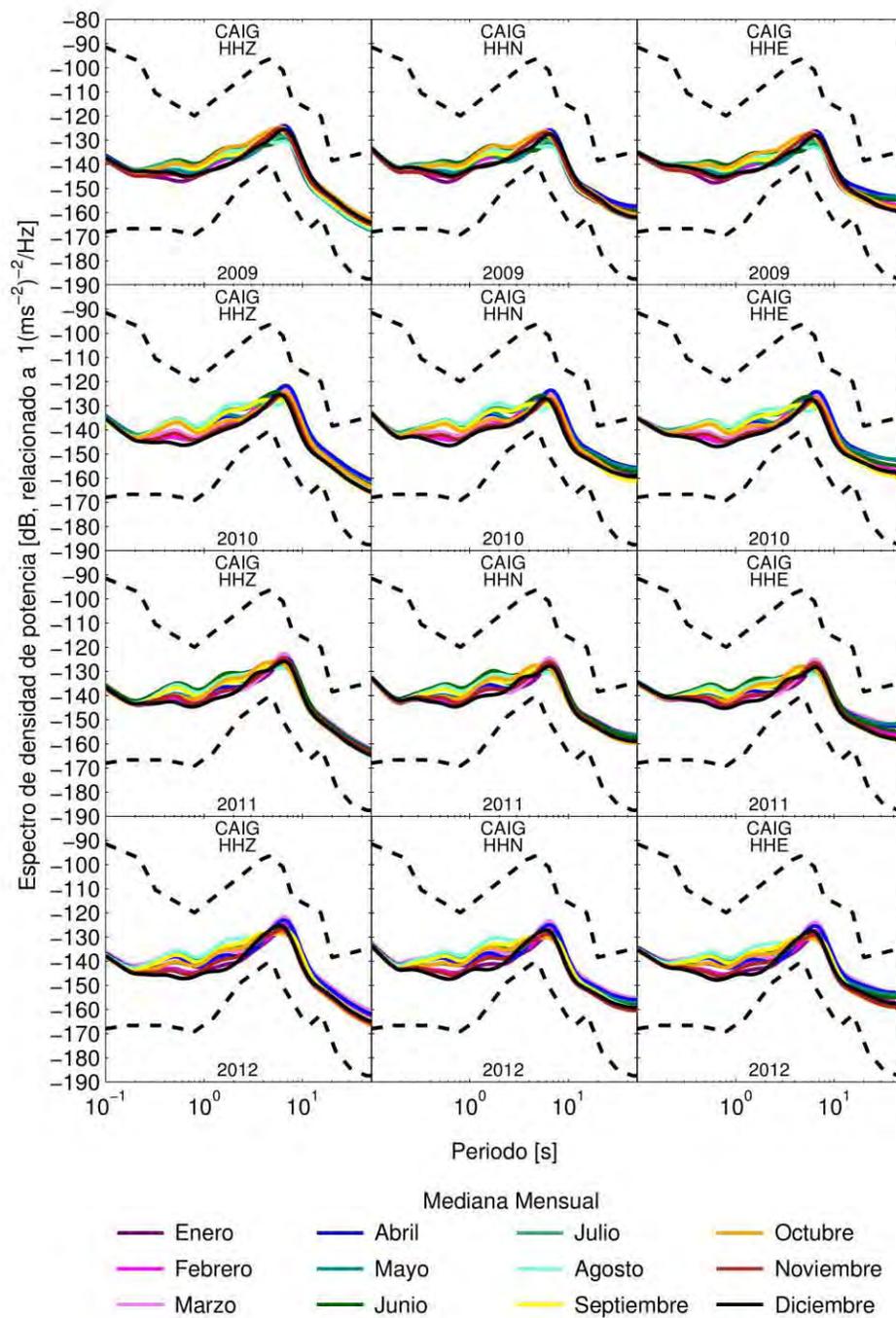


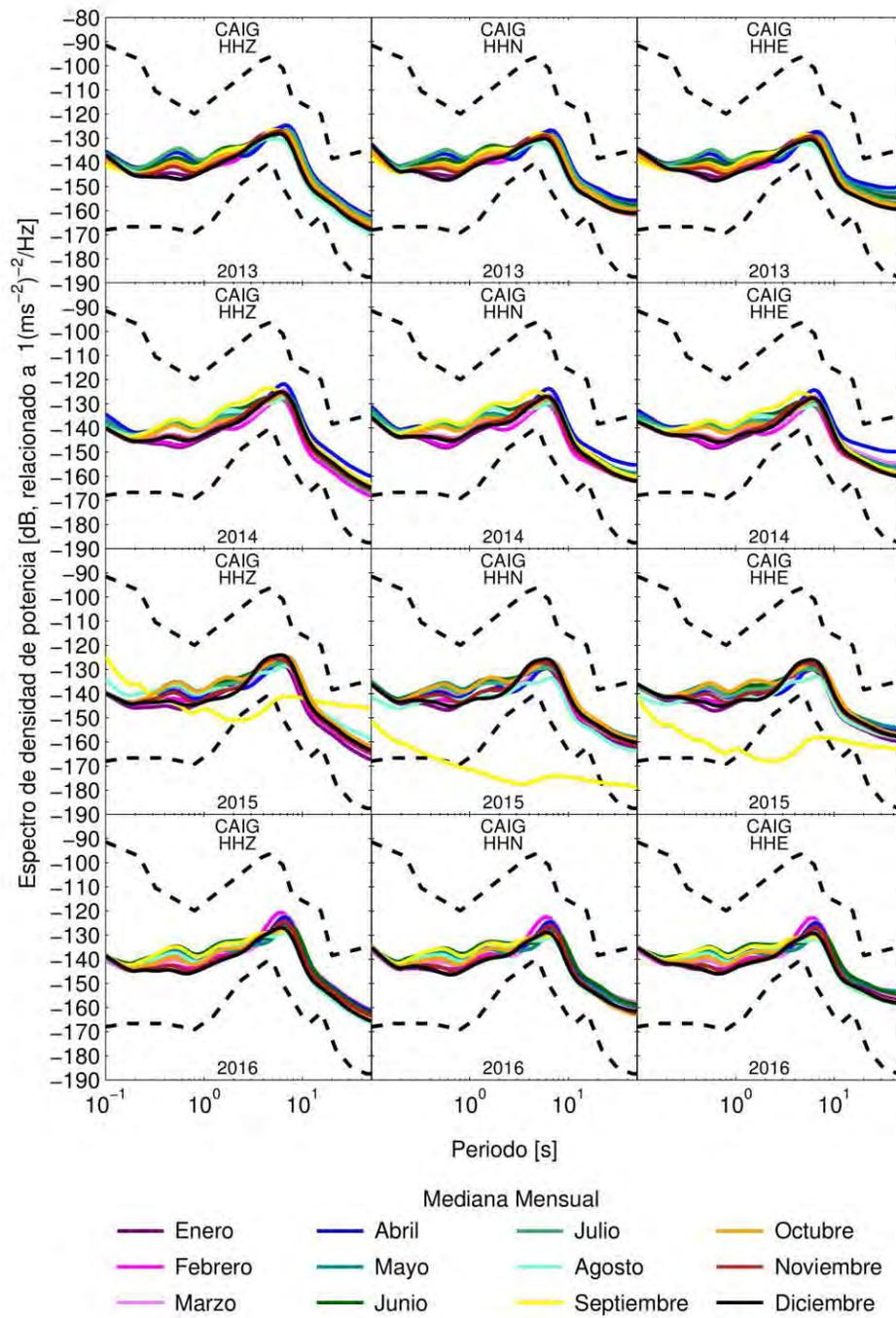


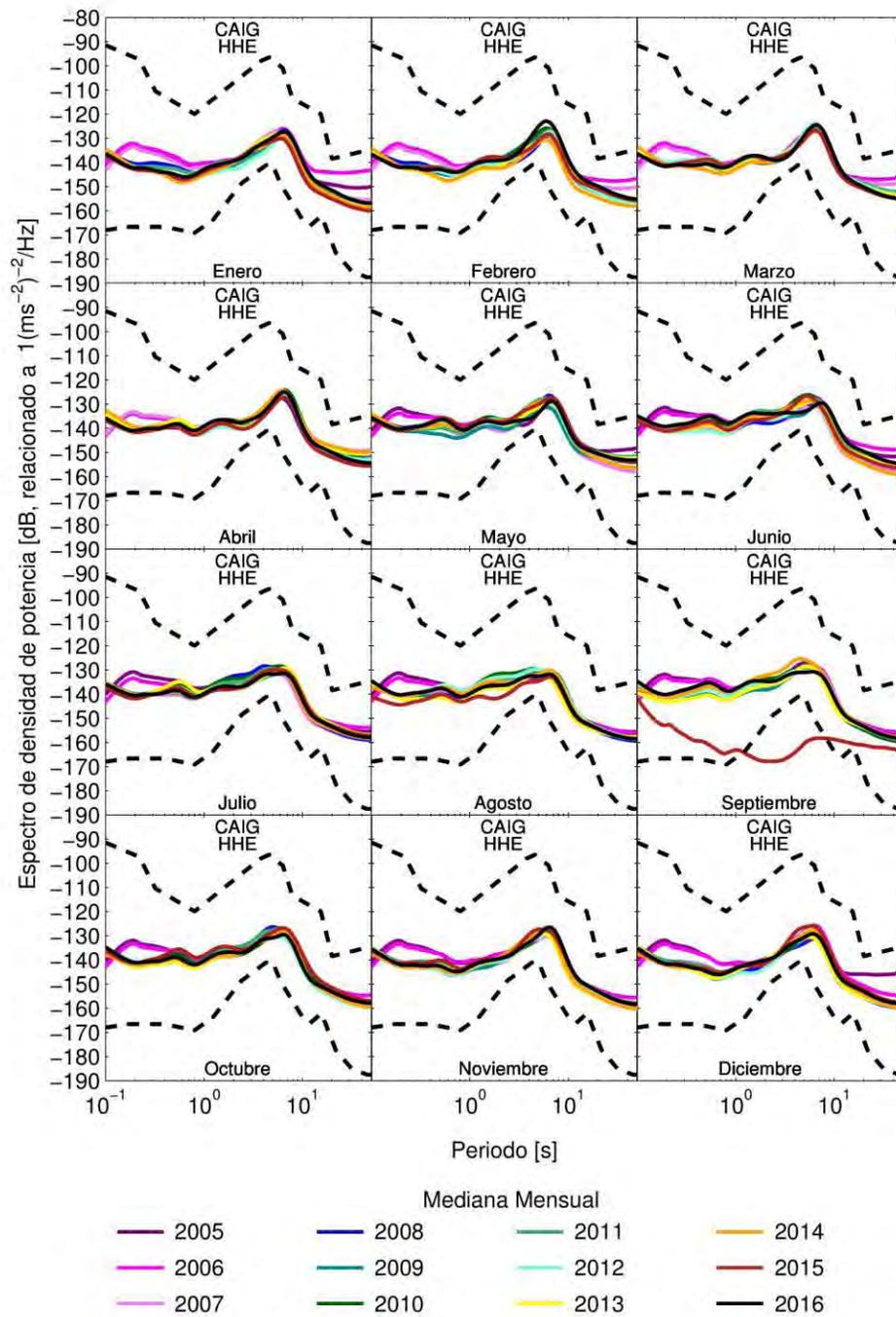


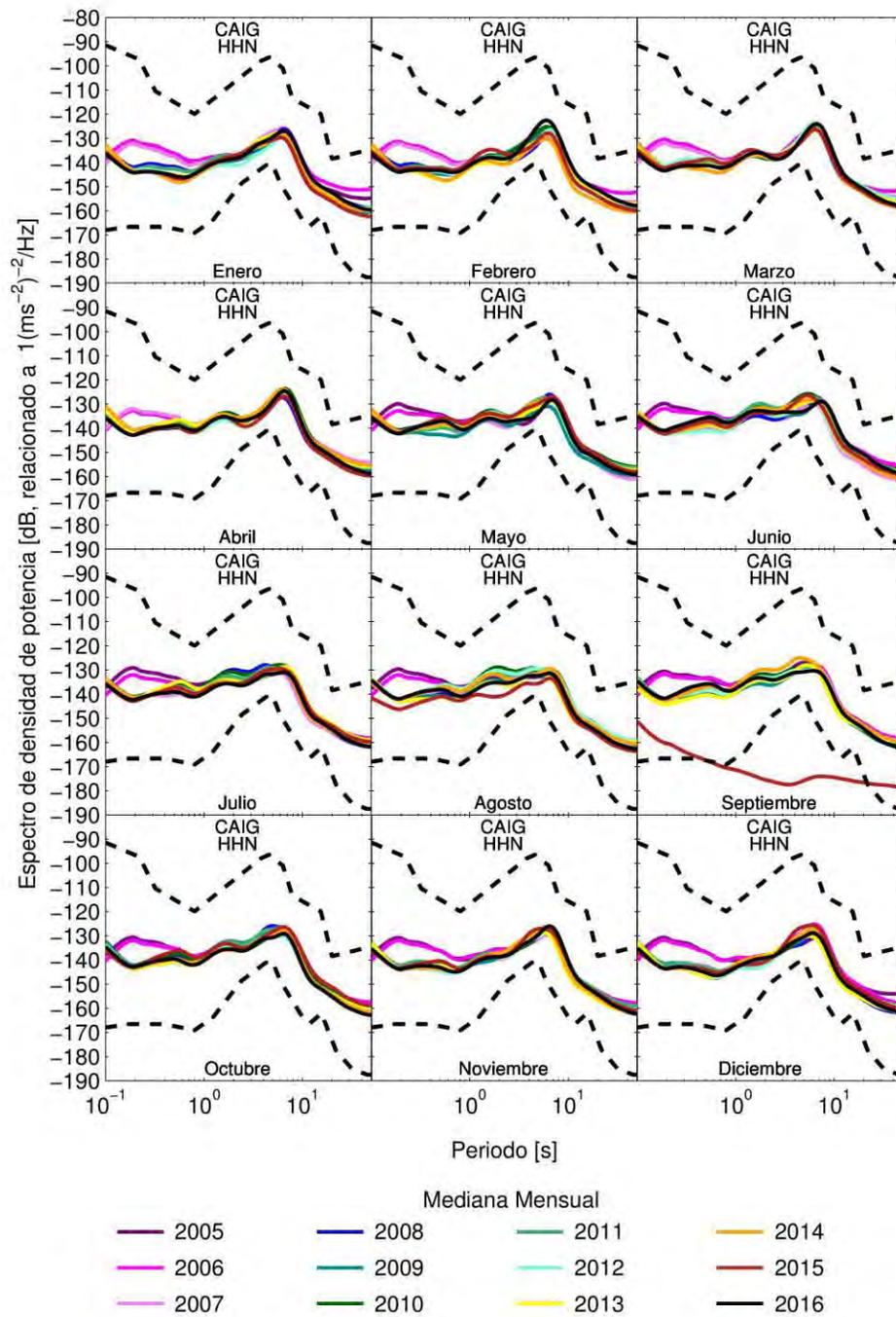


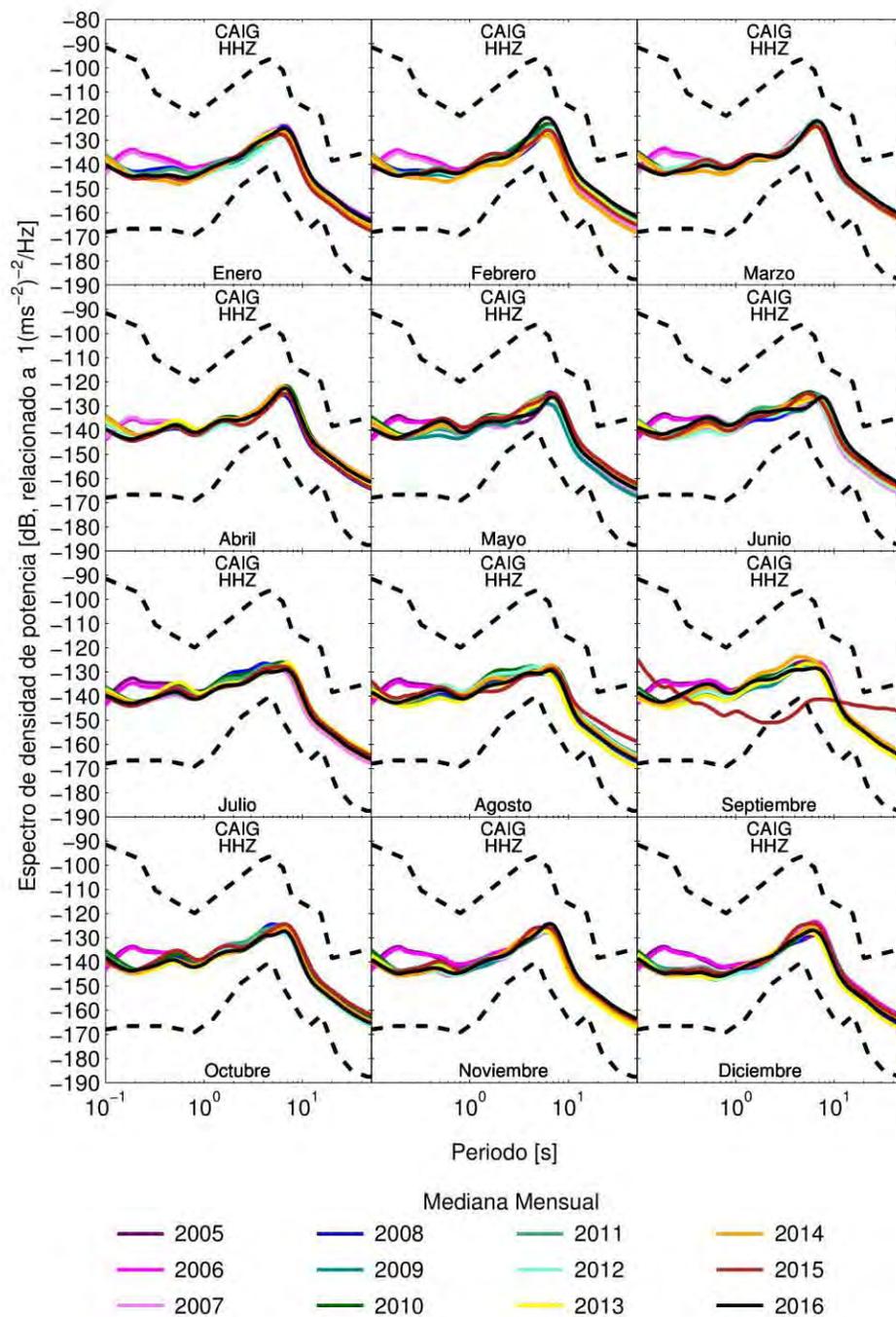


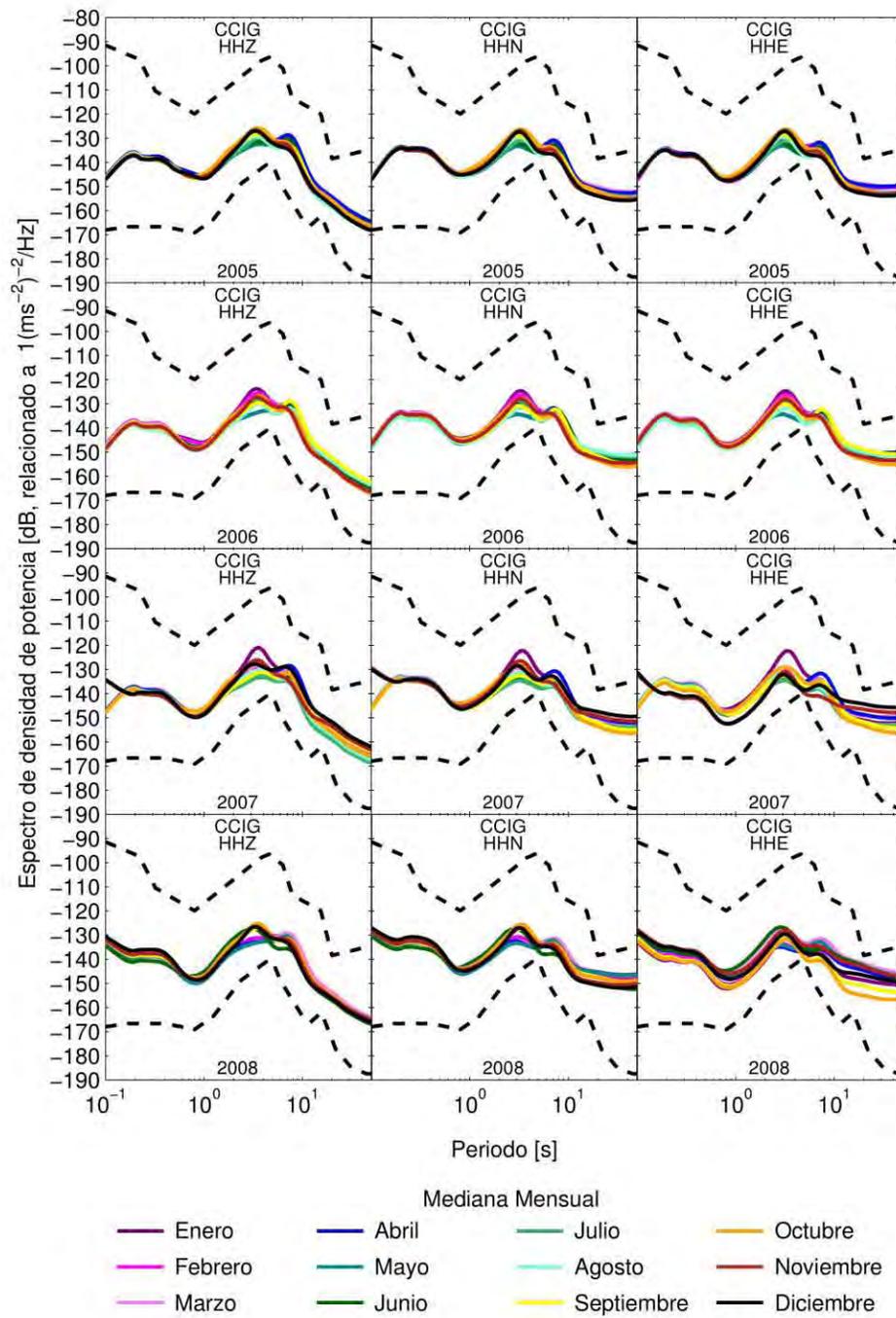


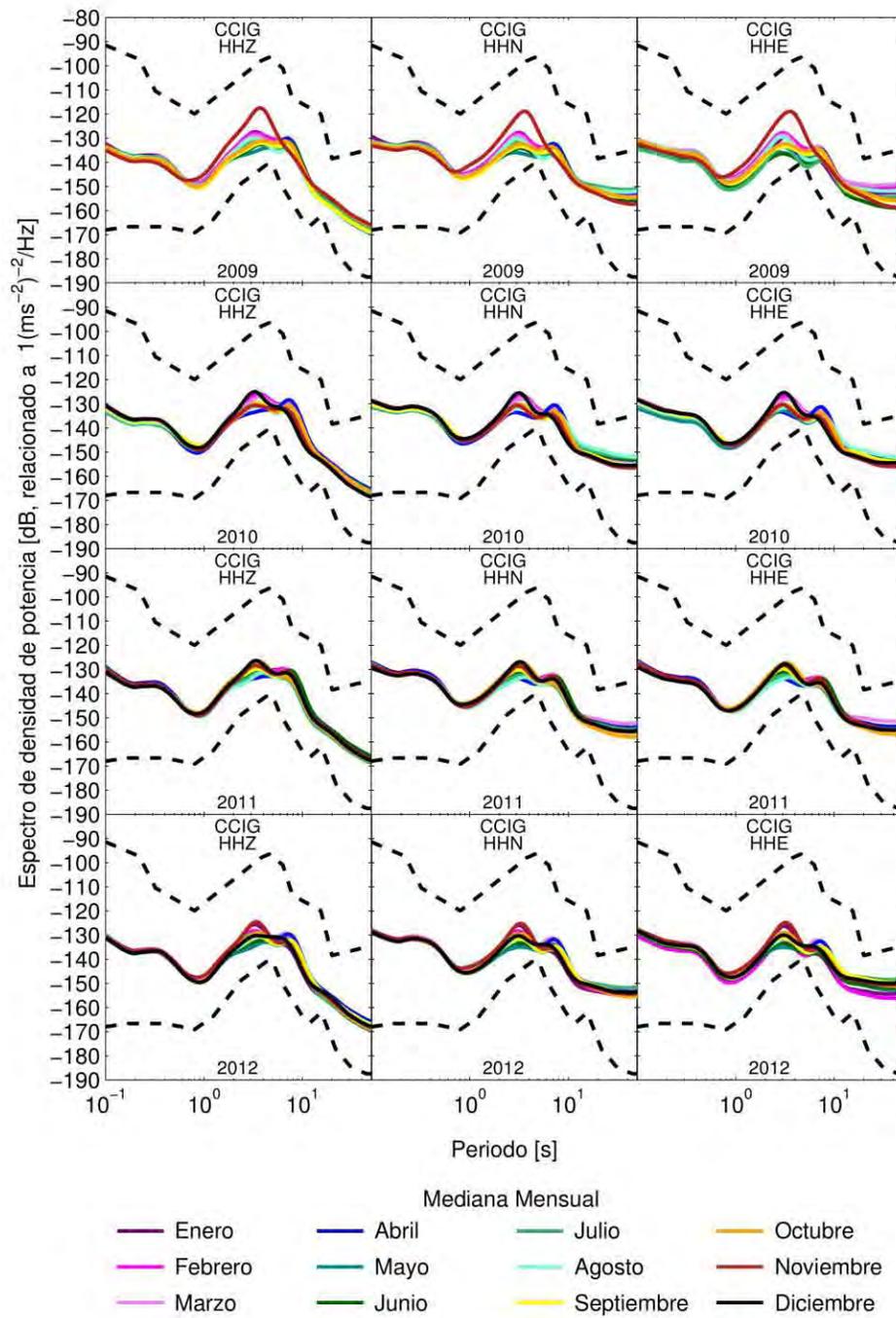


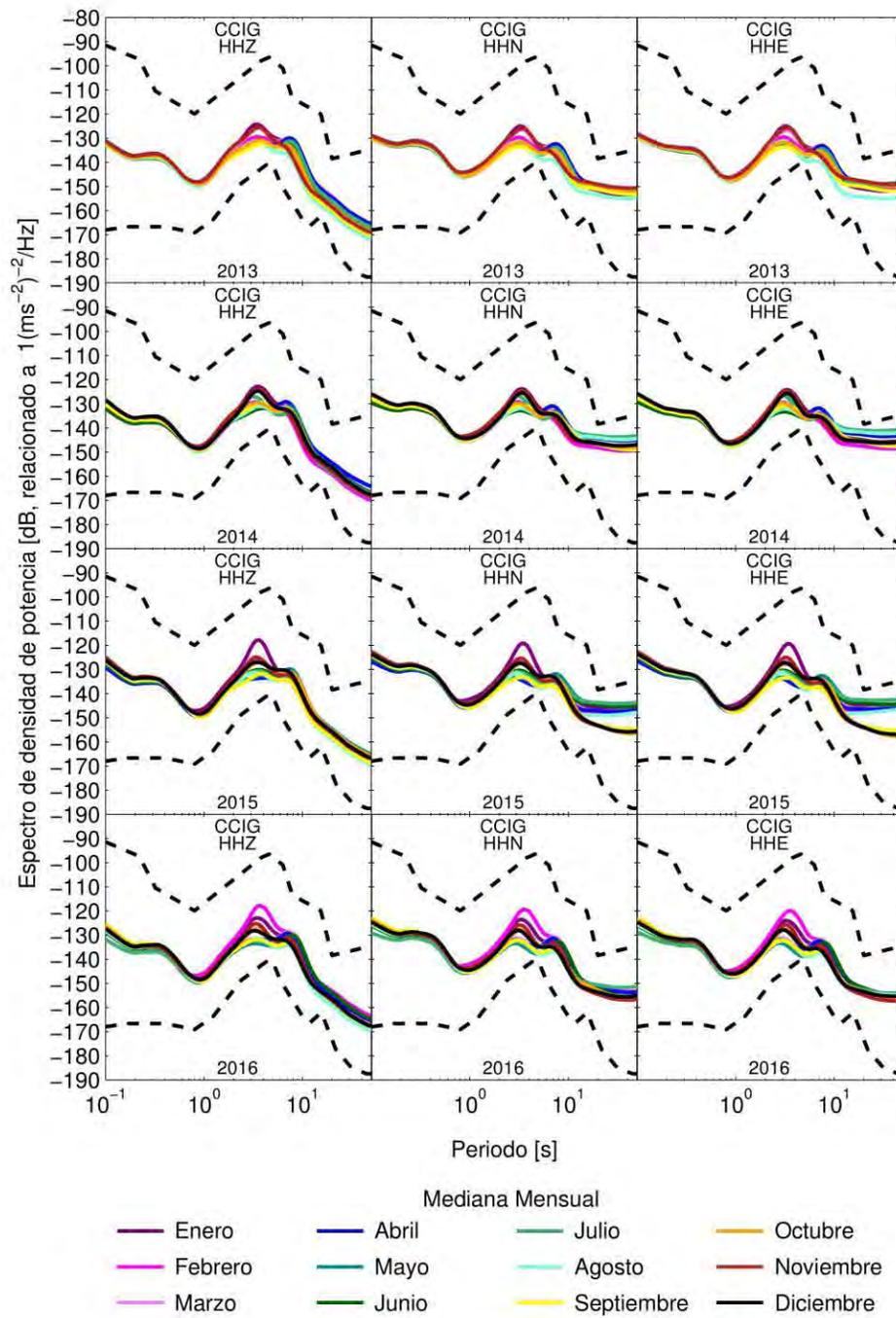


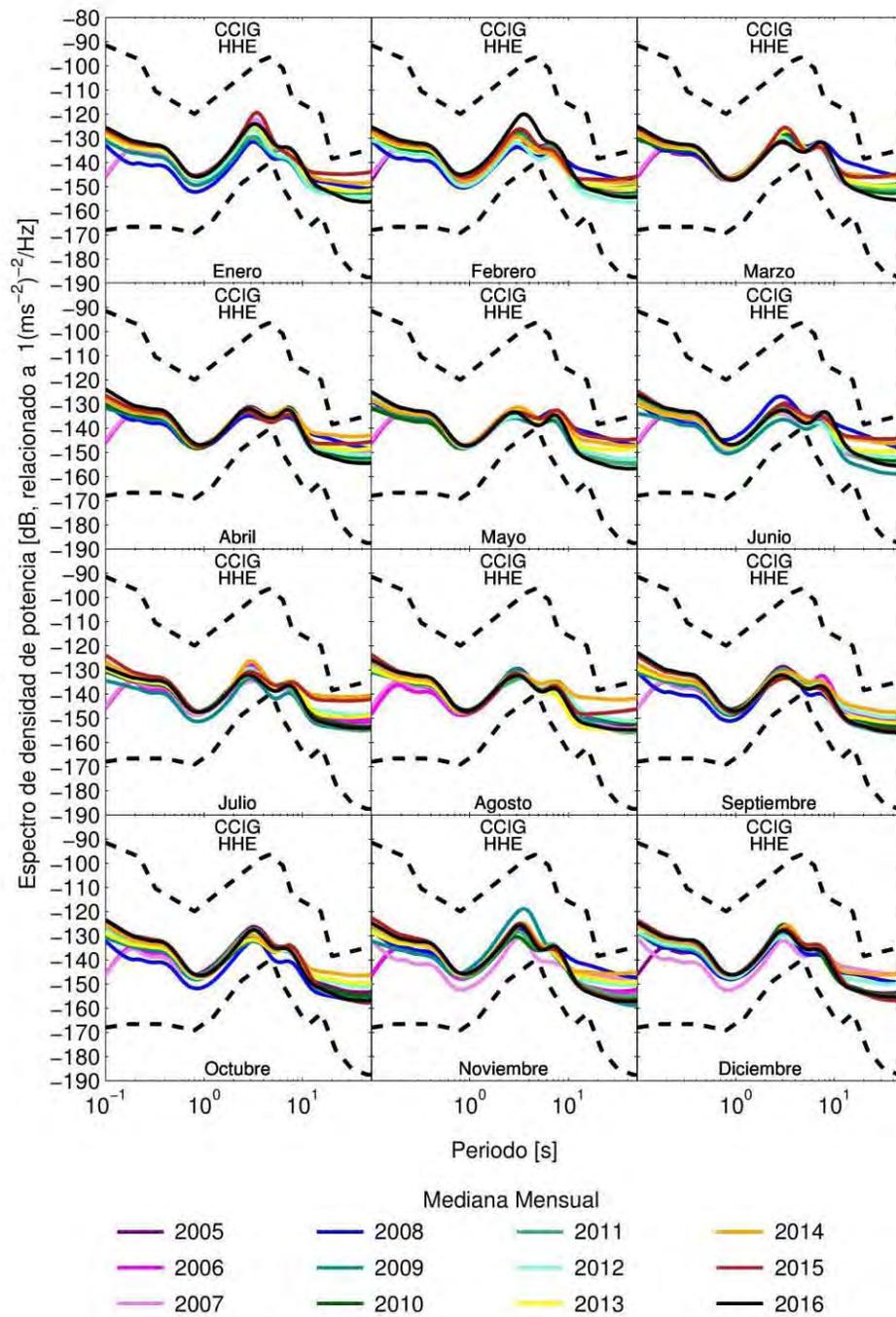


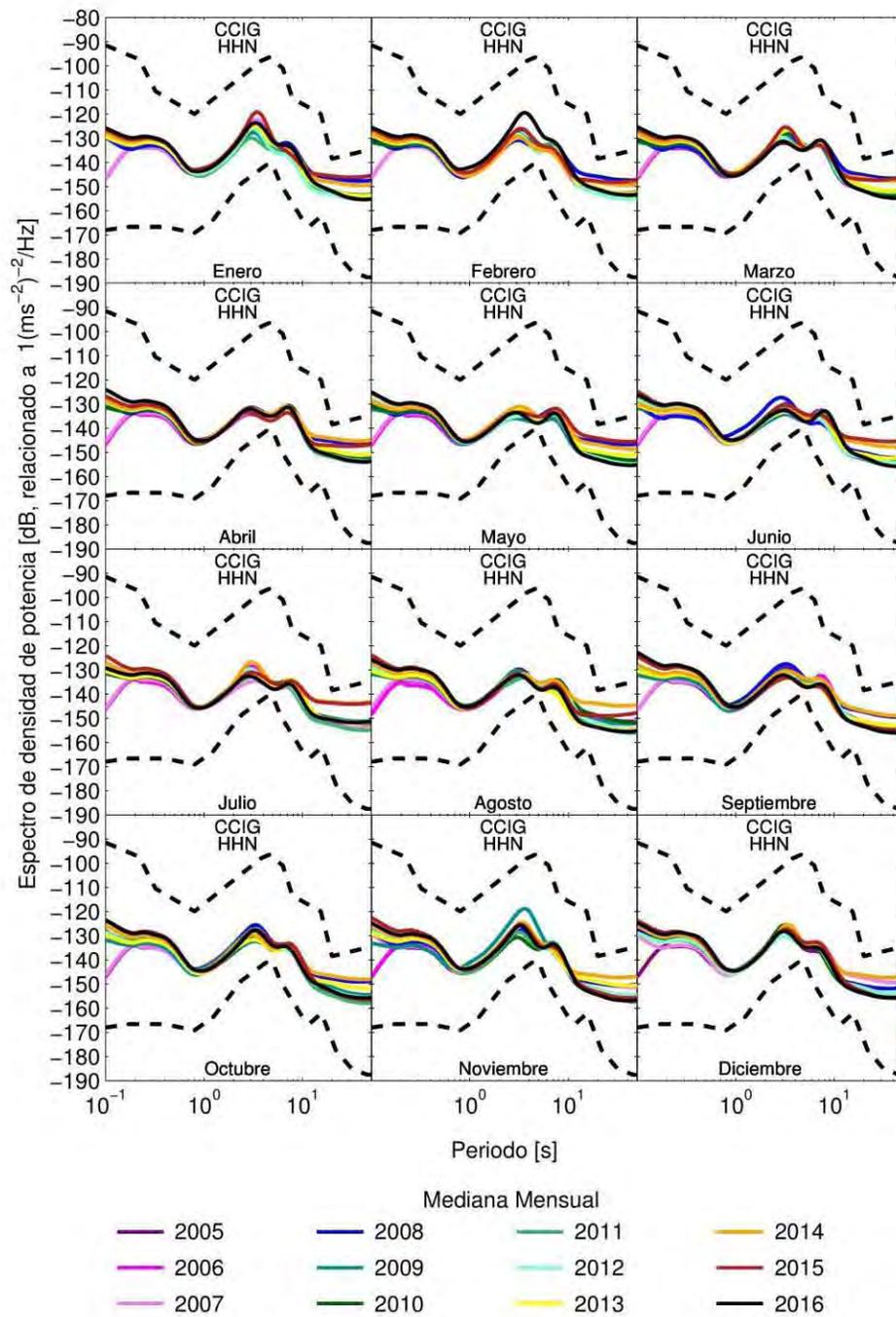


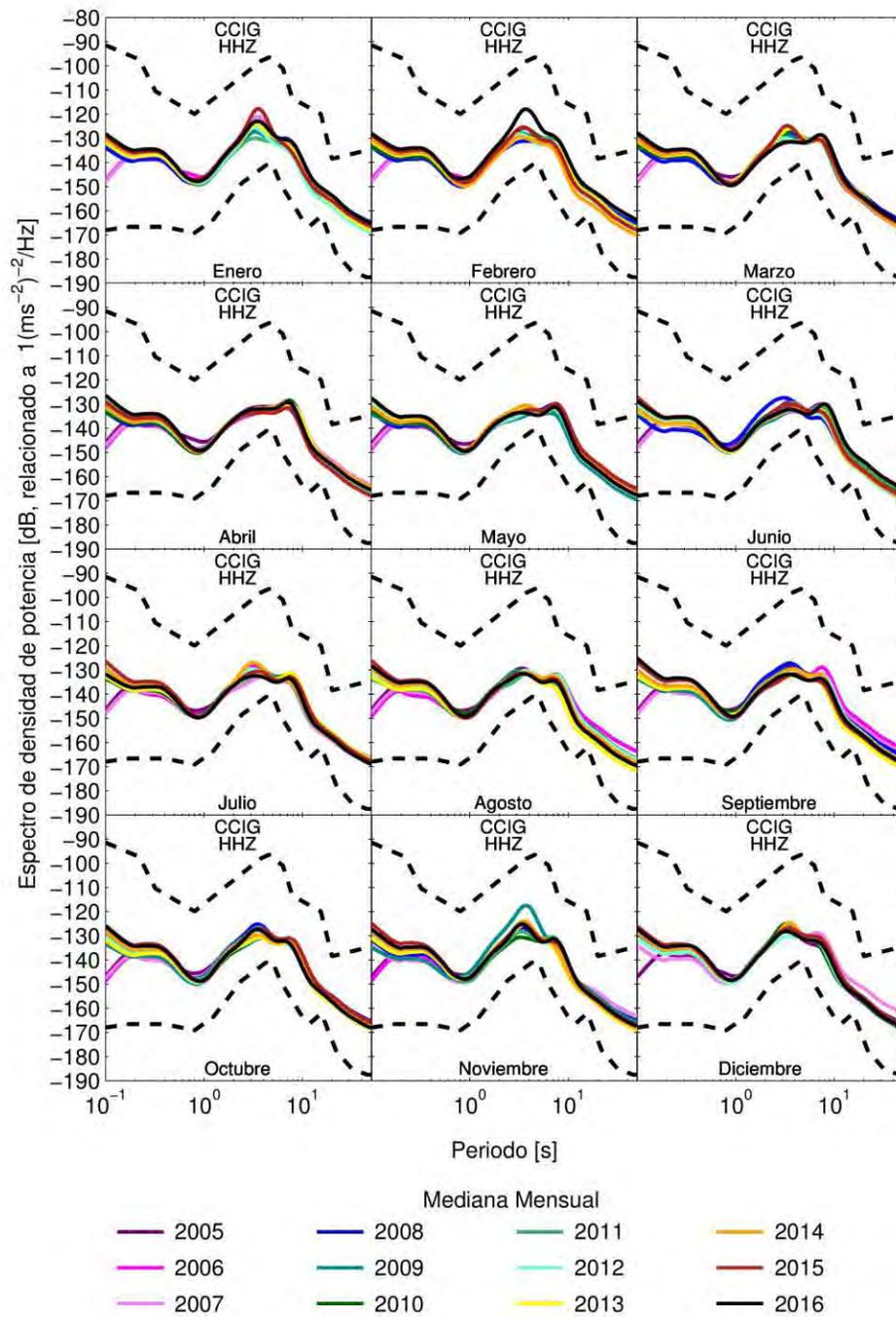


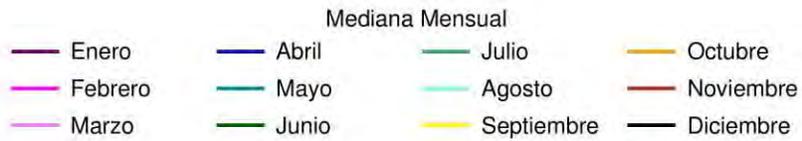
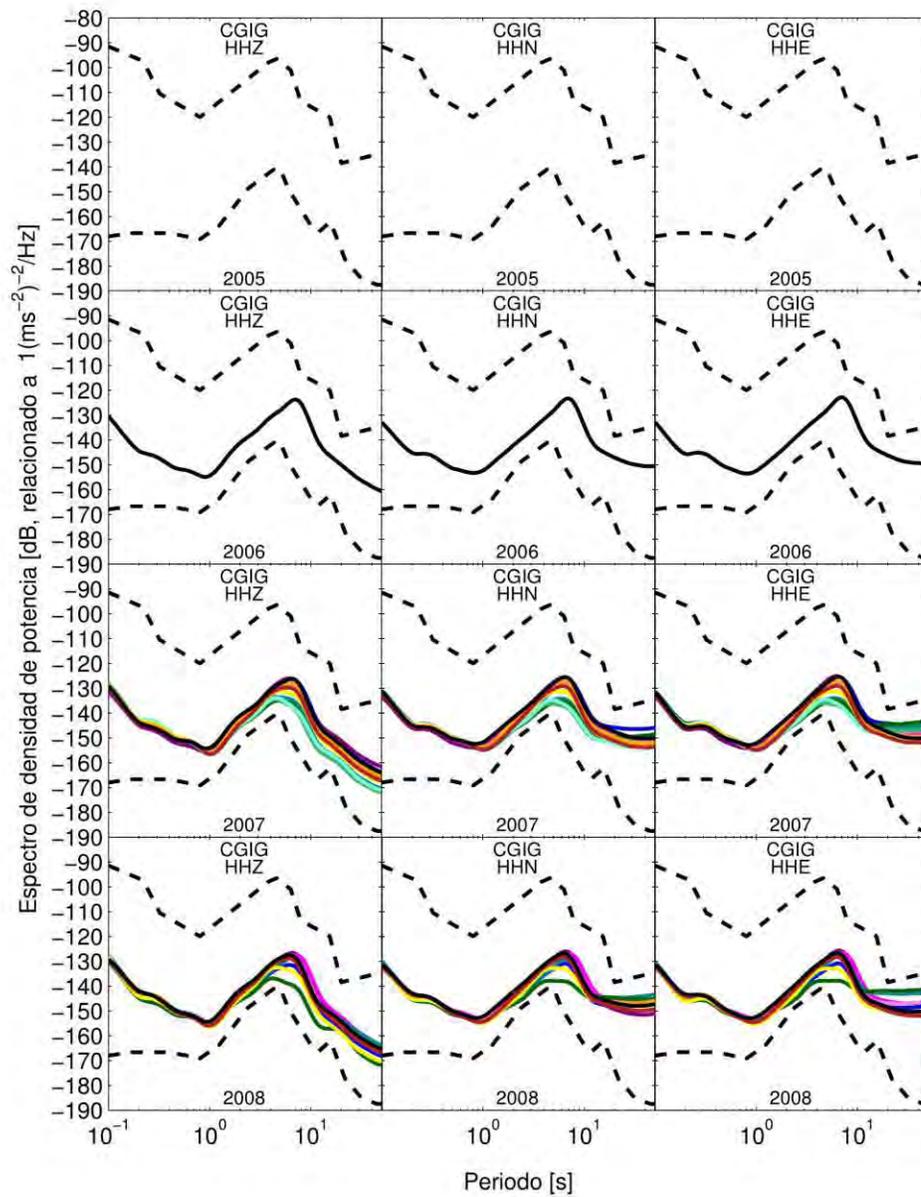


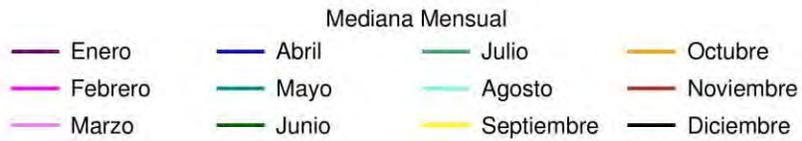
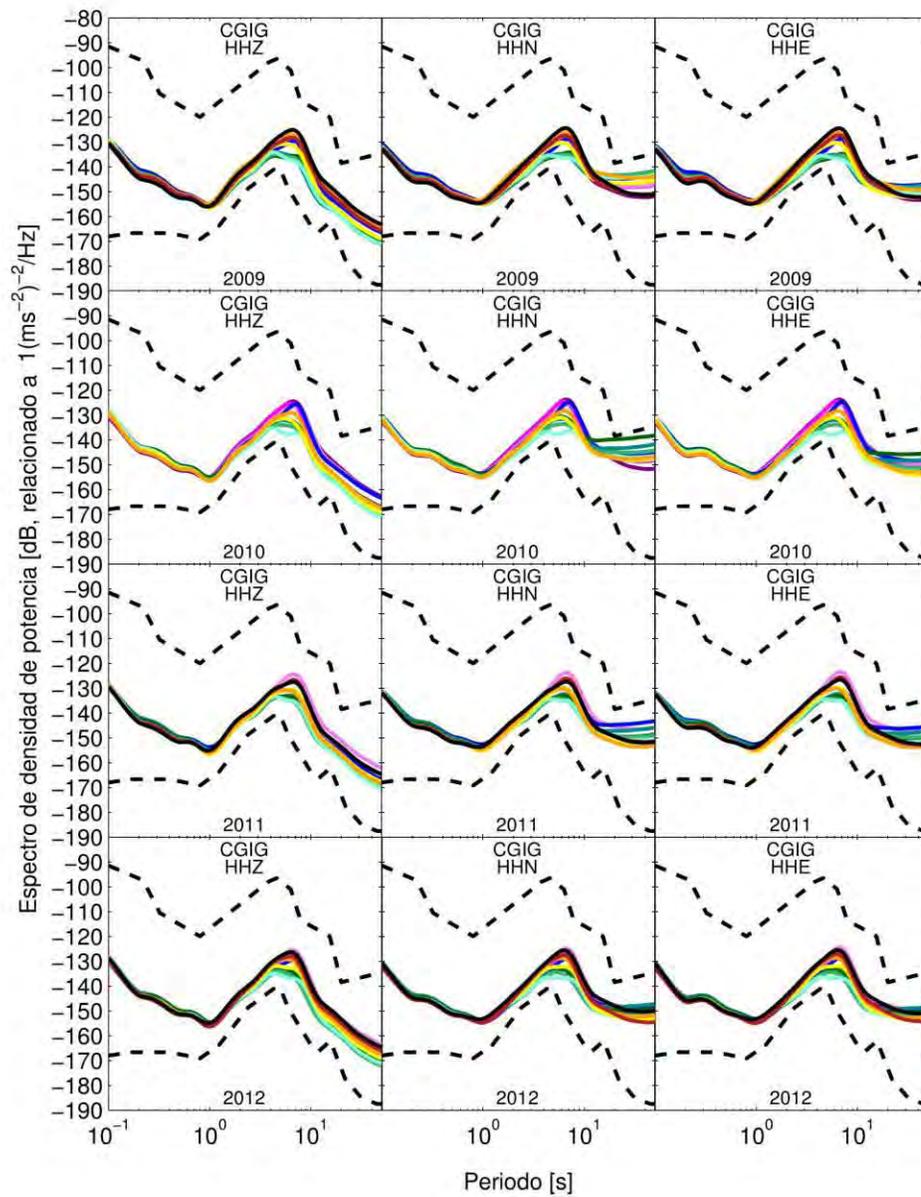


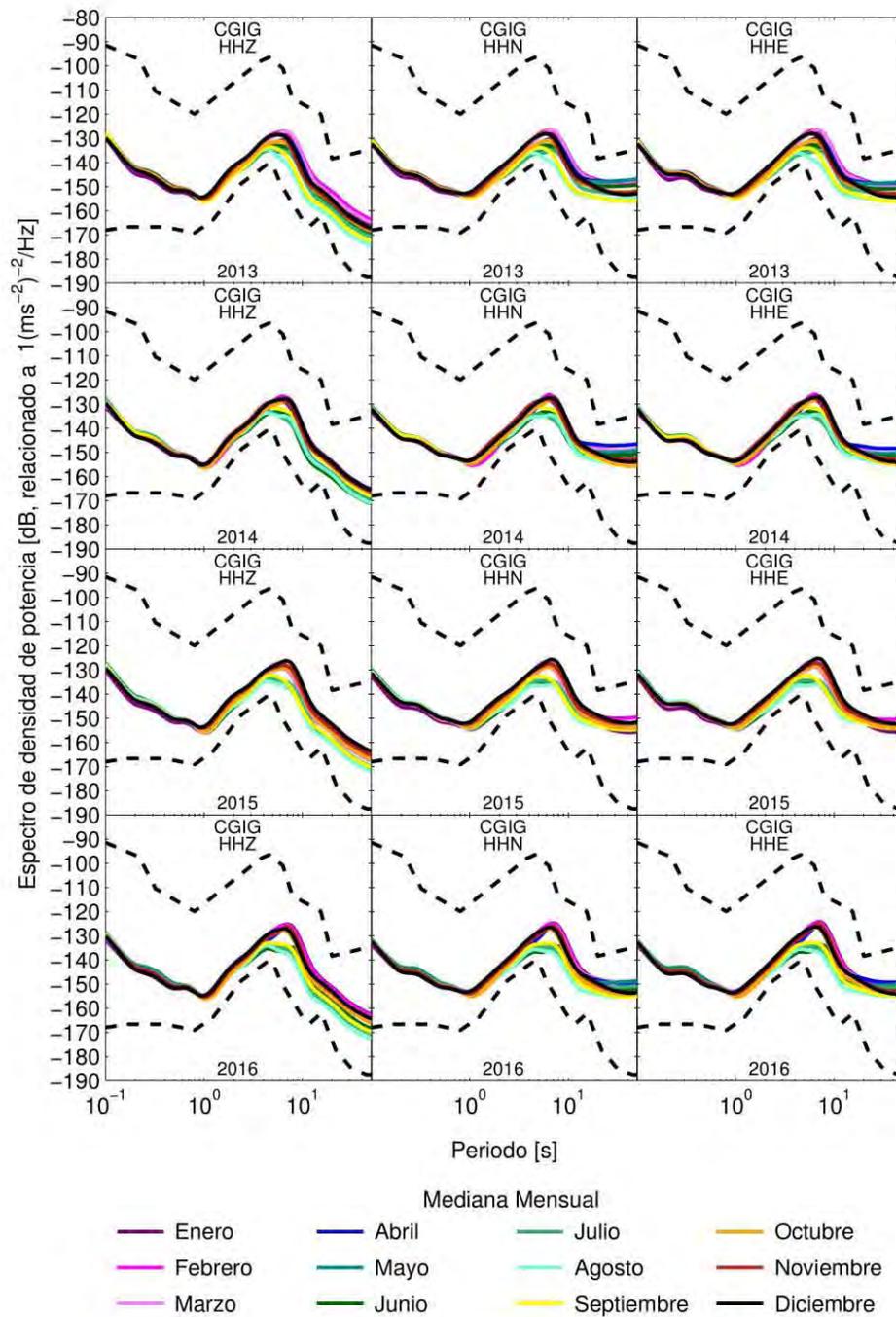


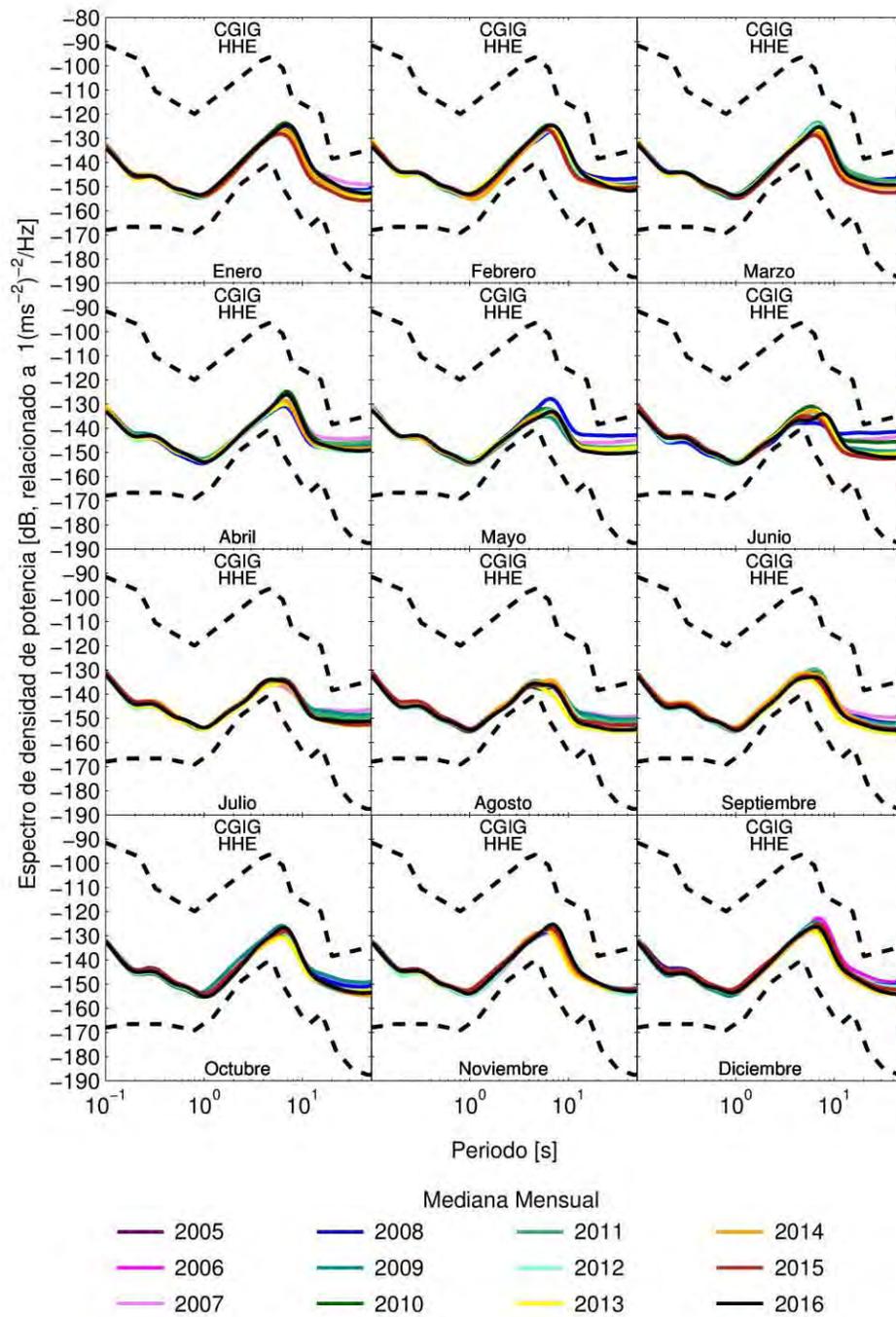


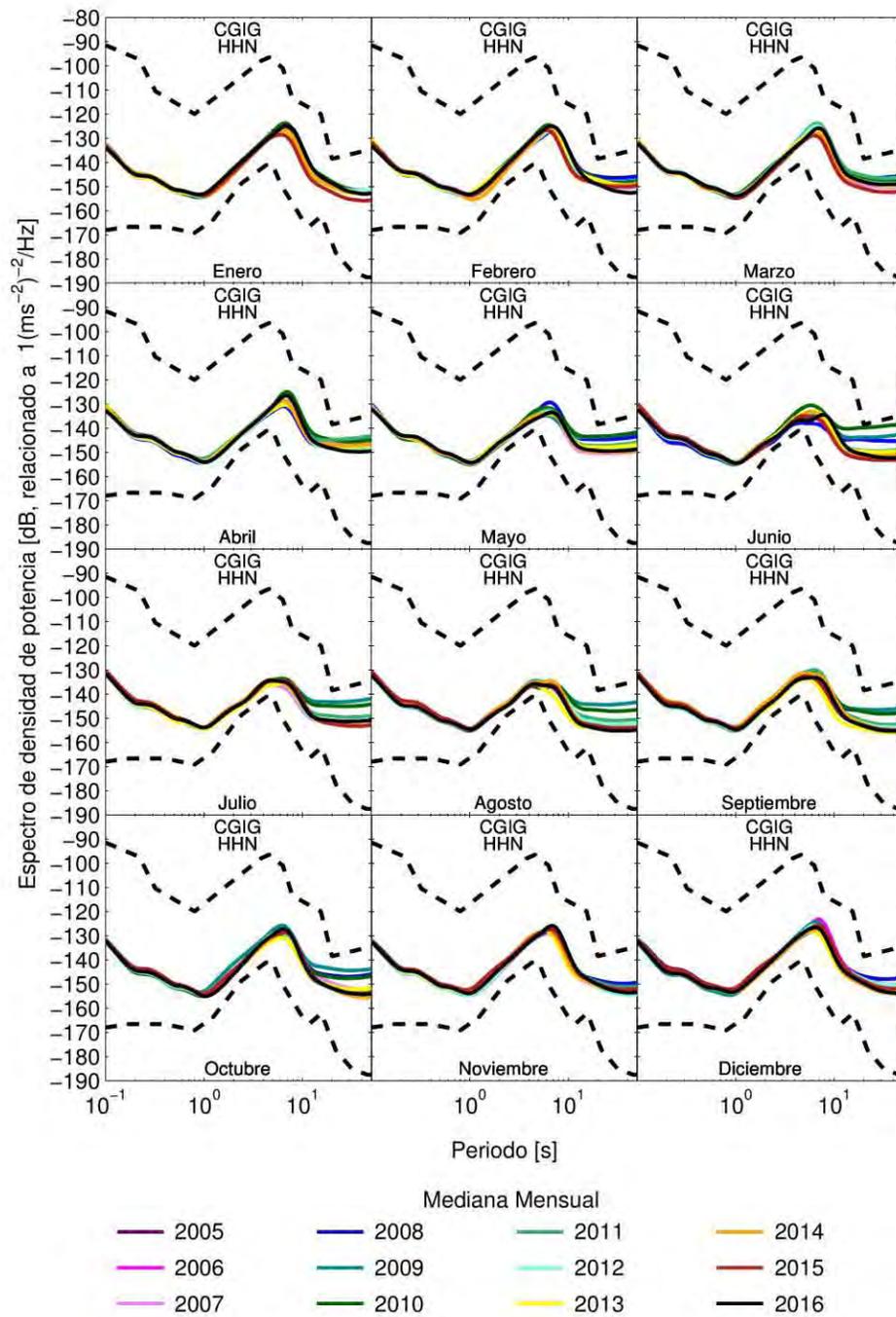


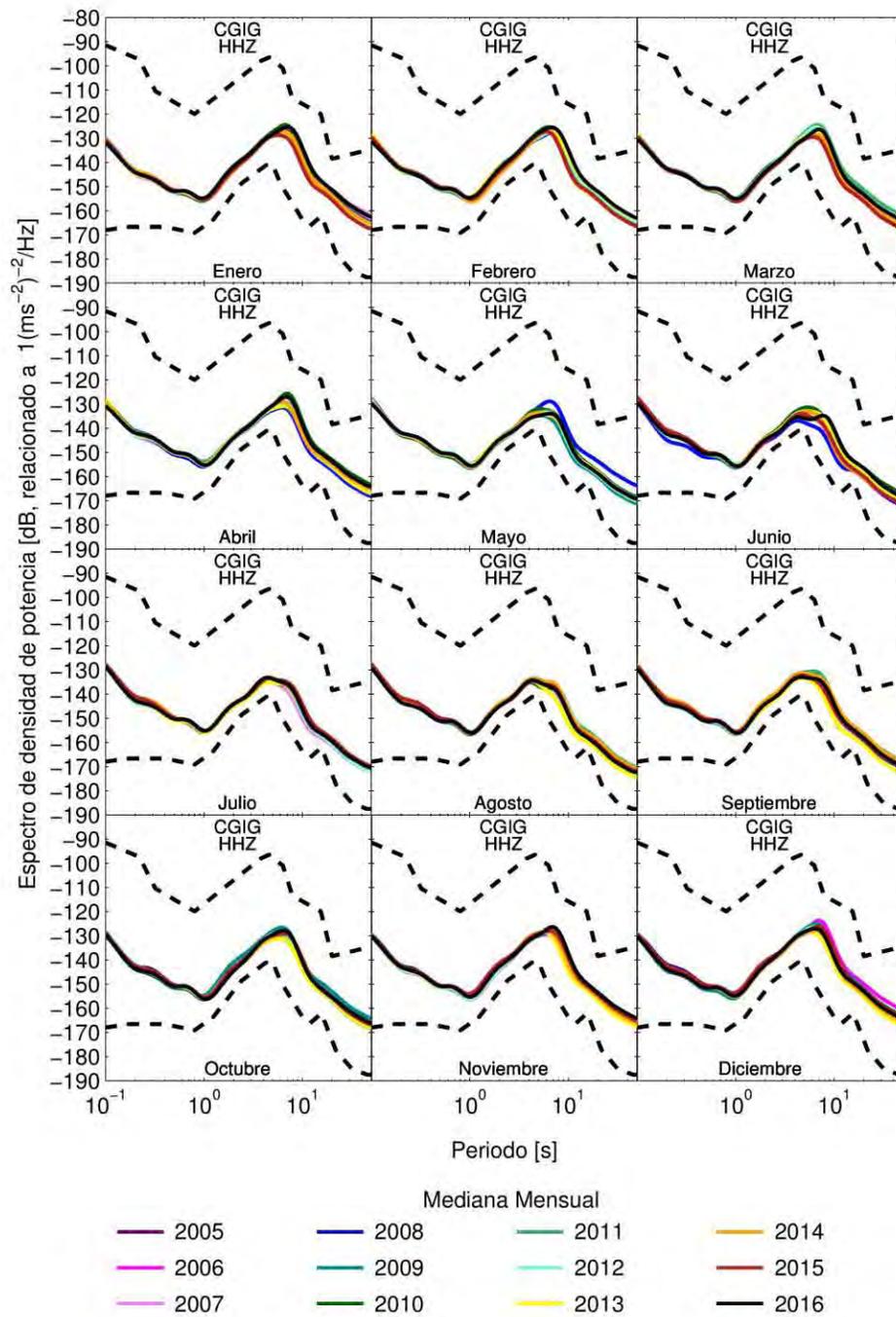


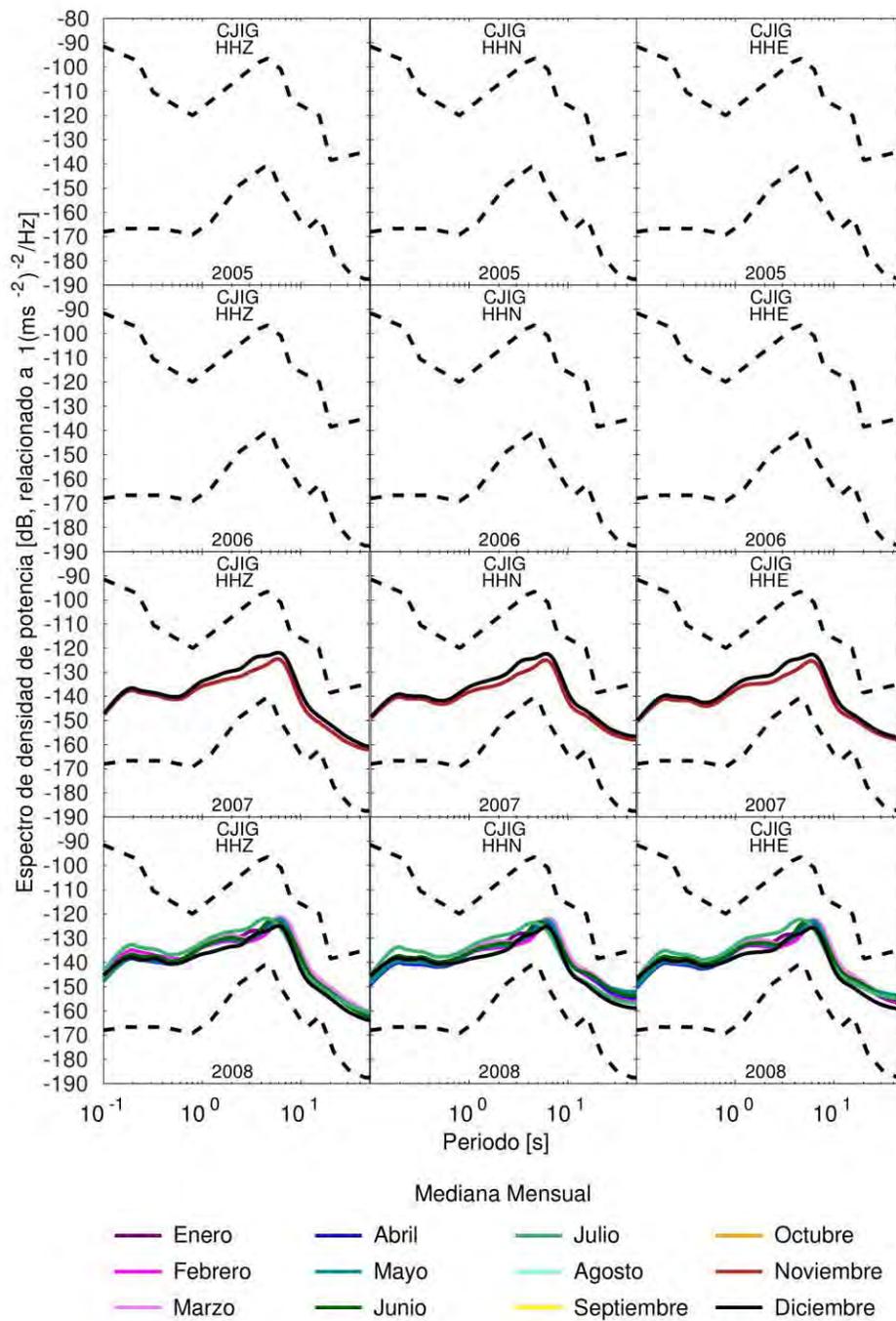


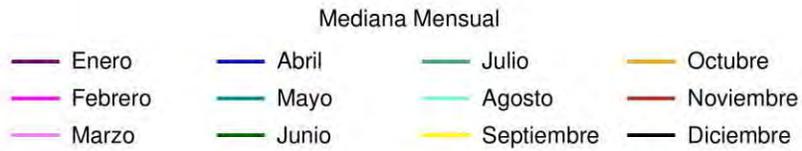
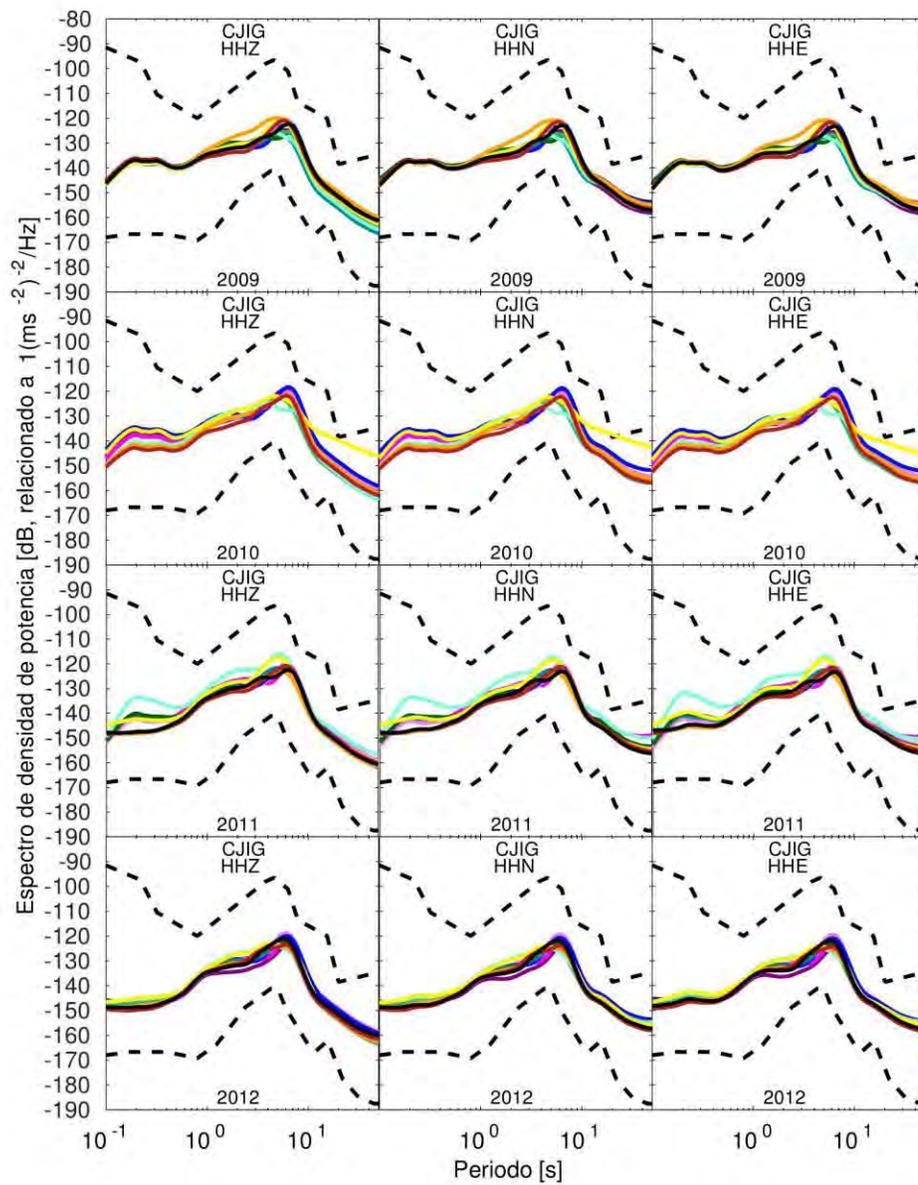


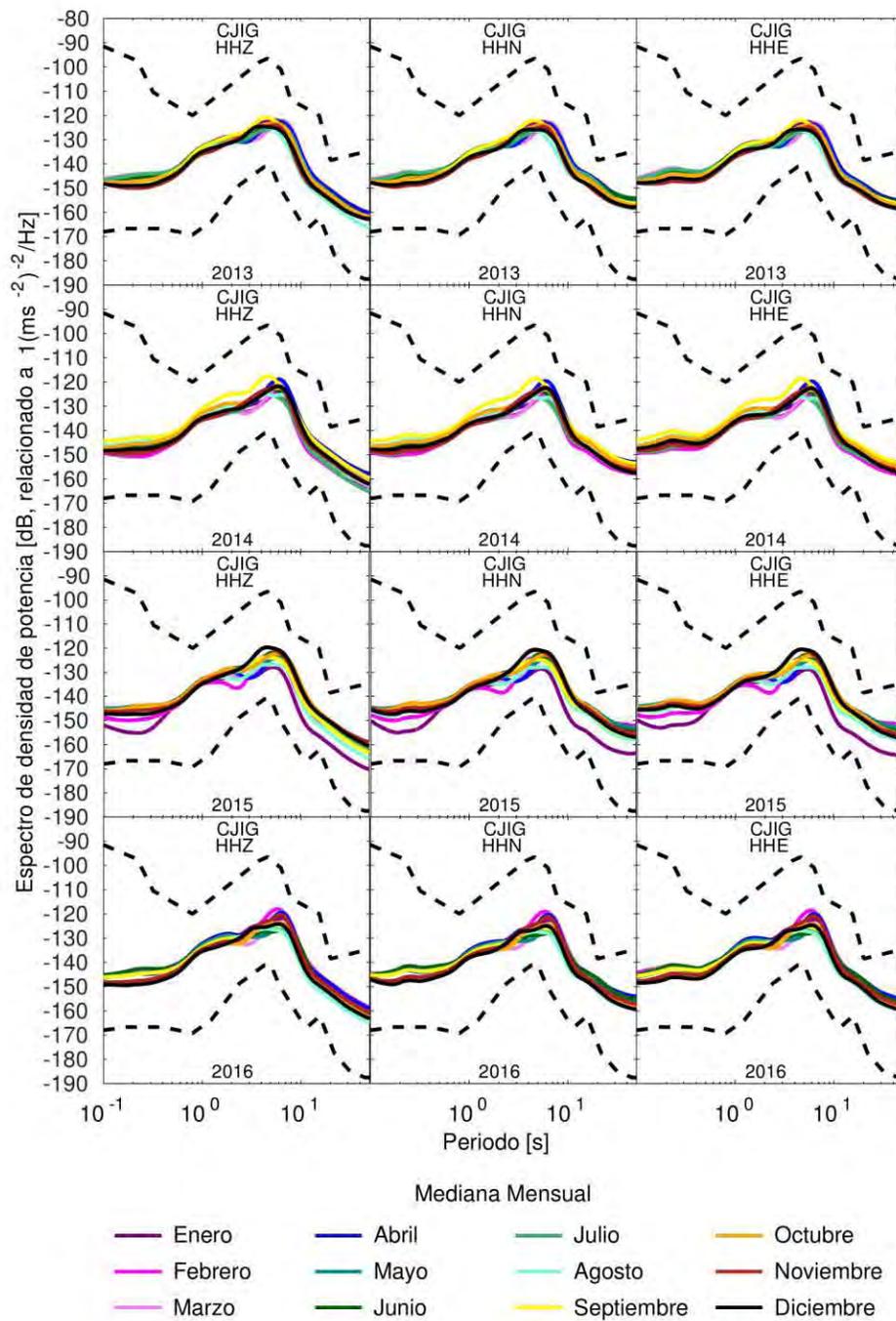


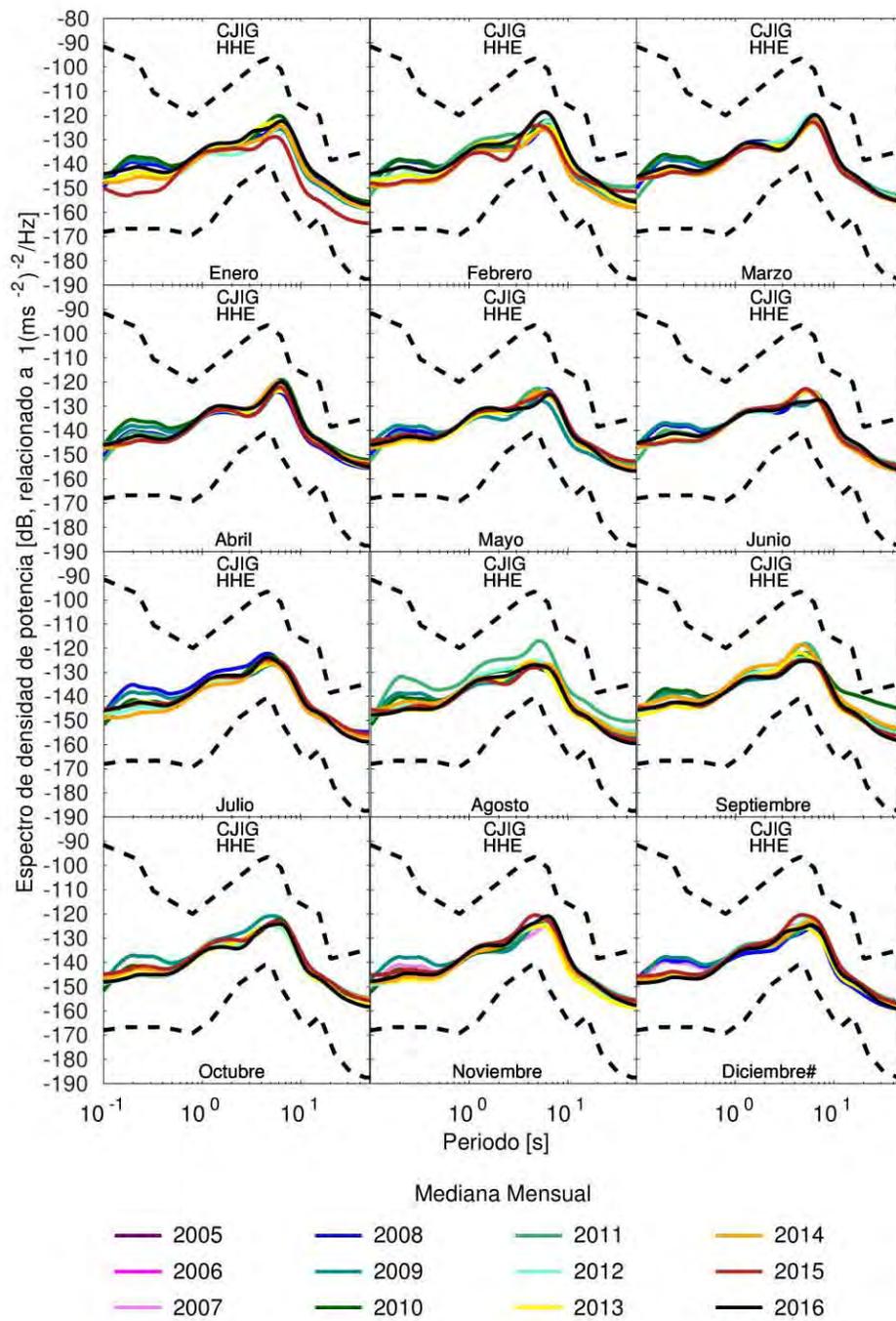


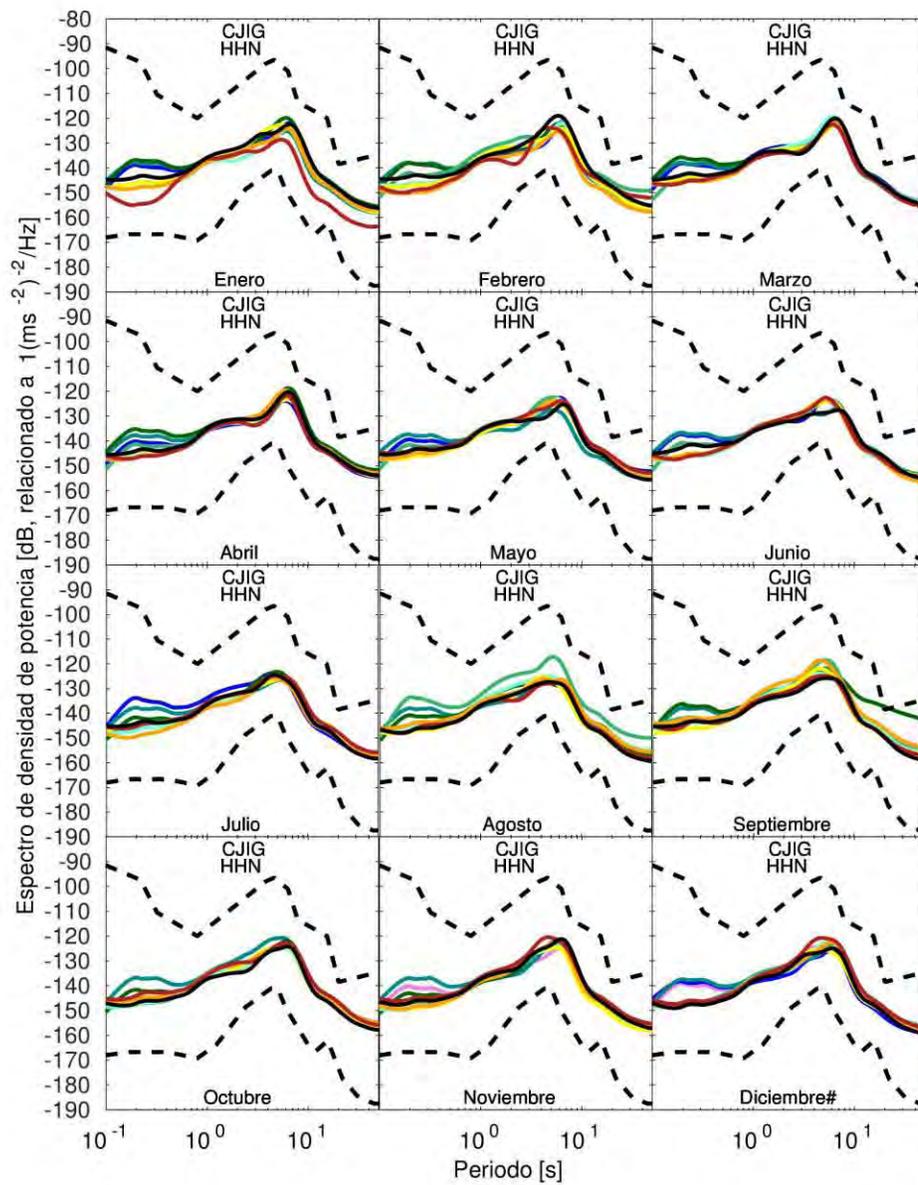






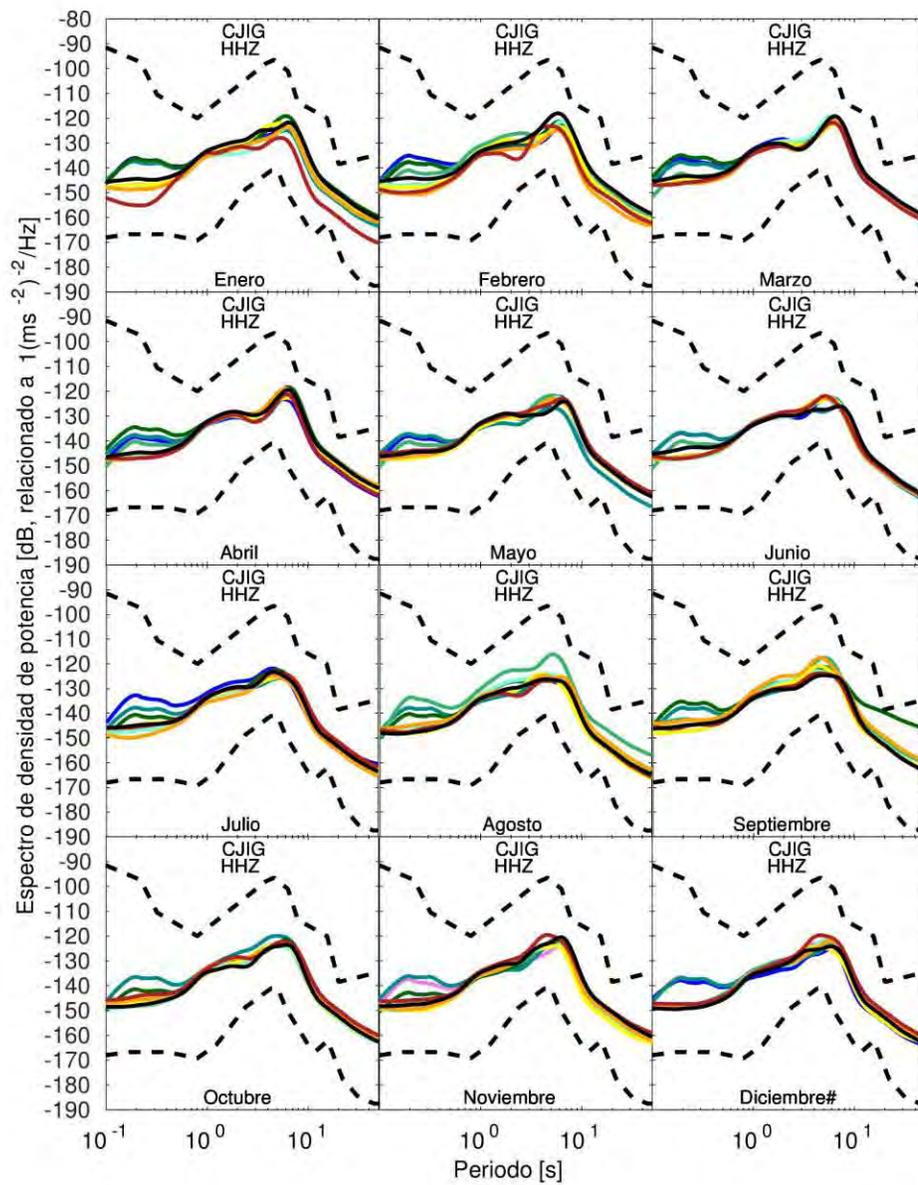






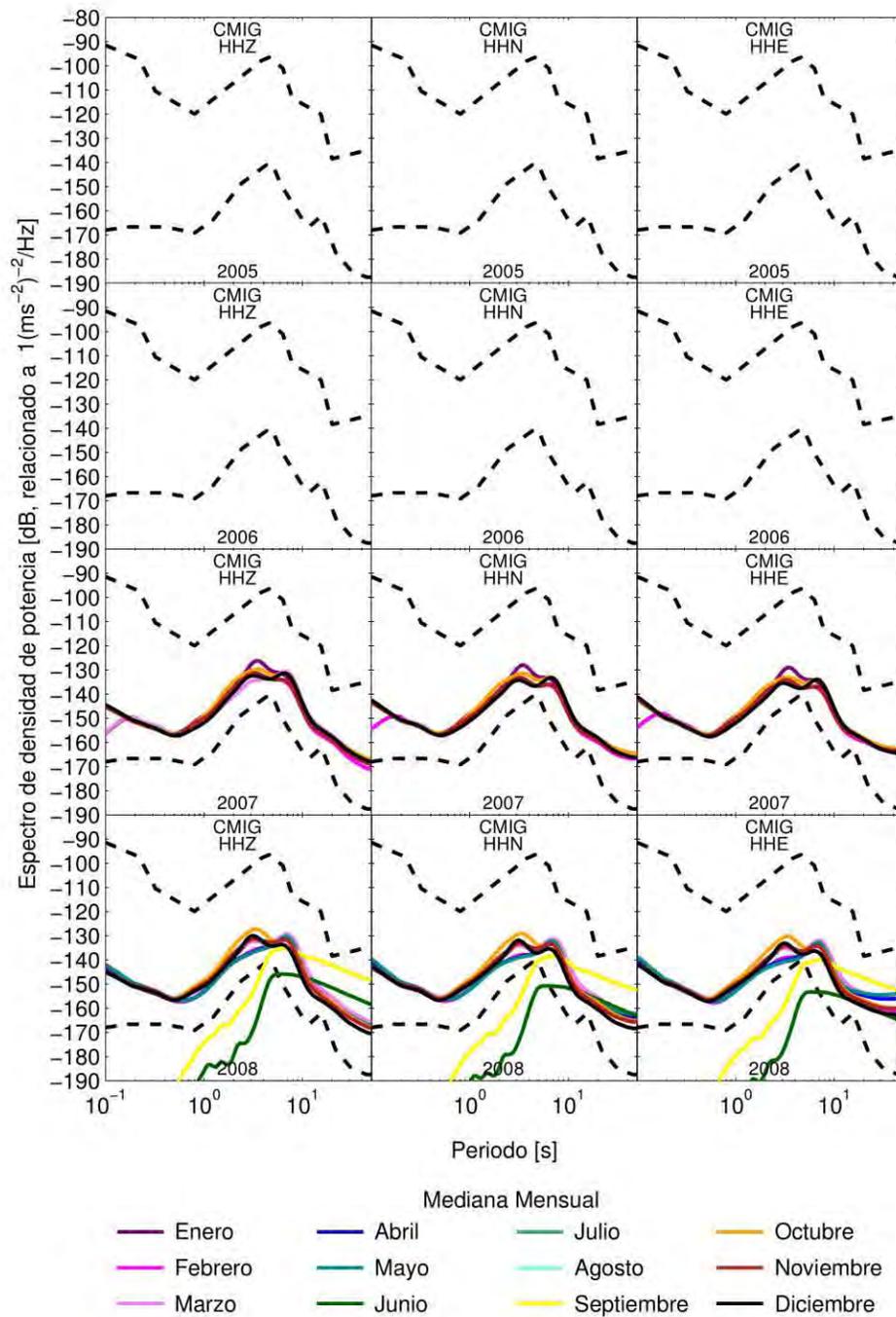
Mediana Mensual

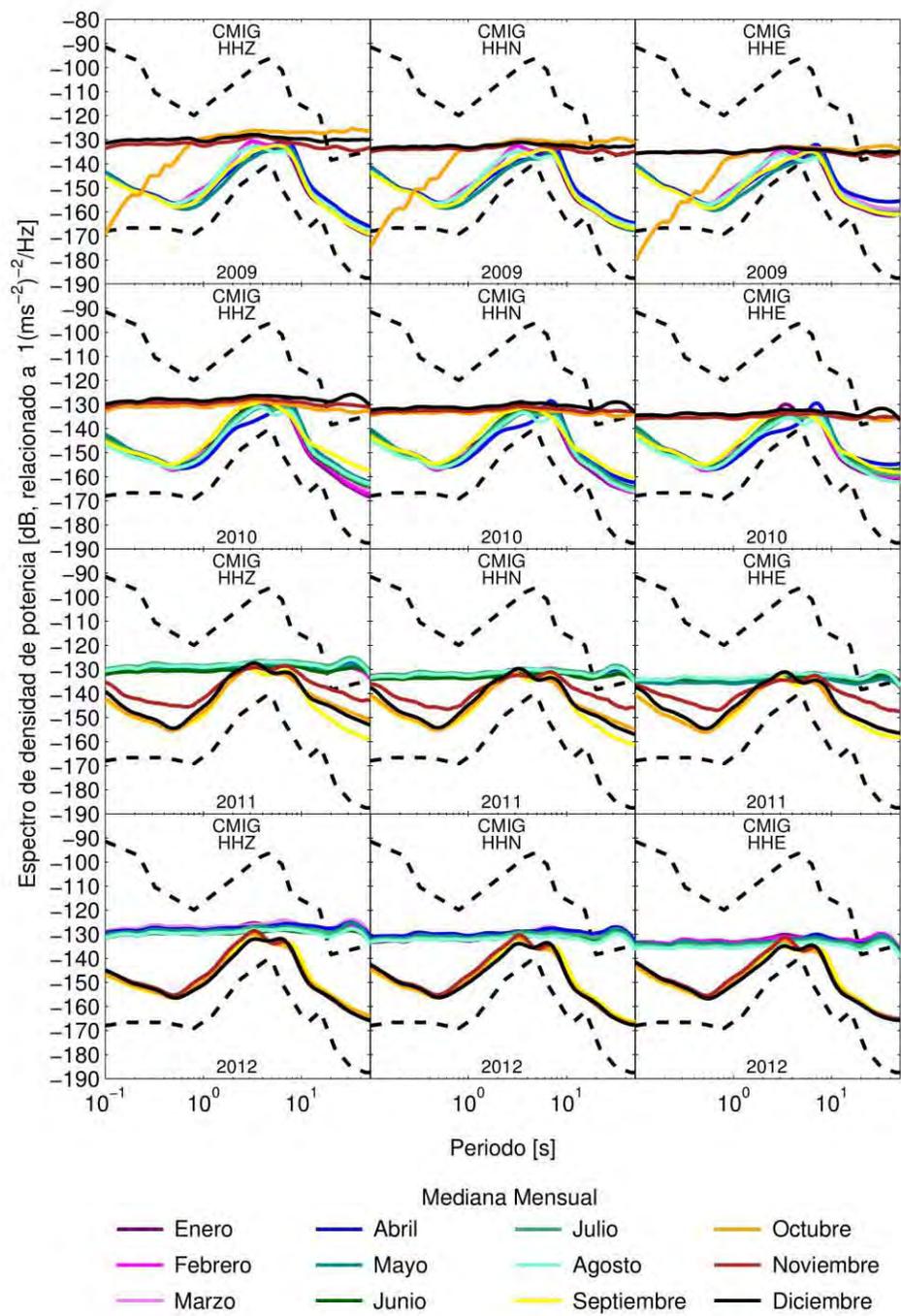


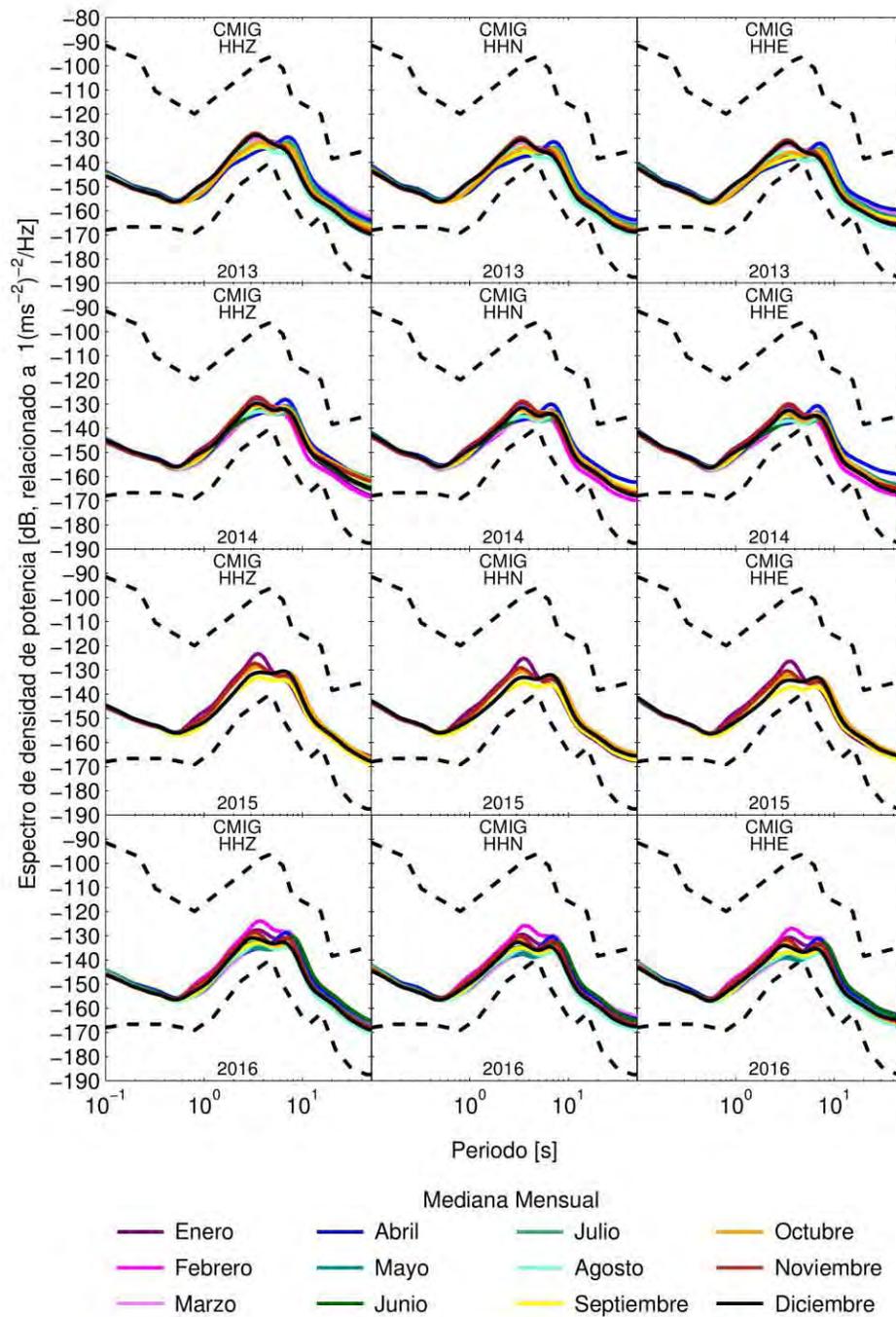


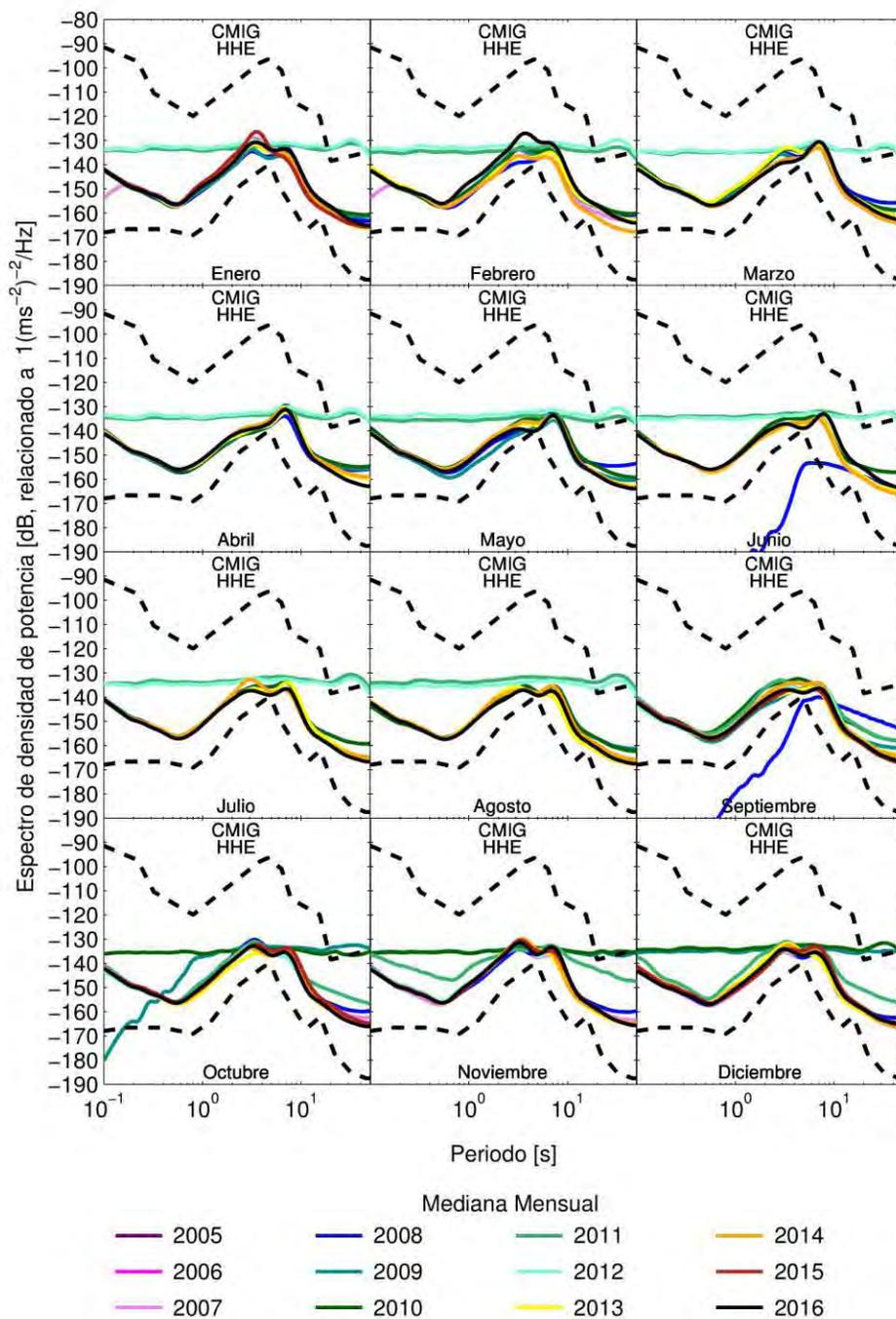
Mediana Mensual

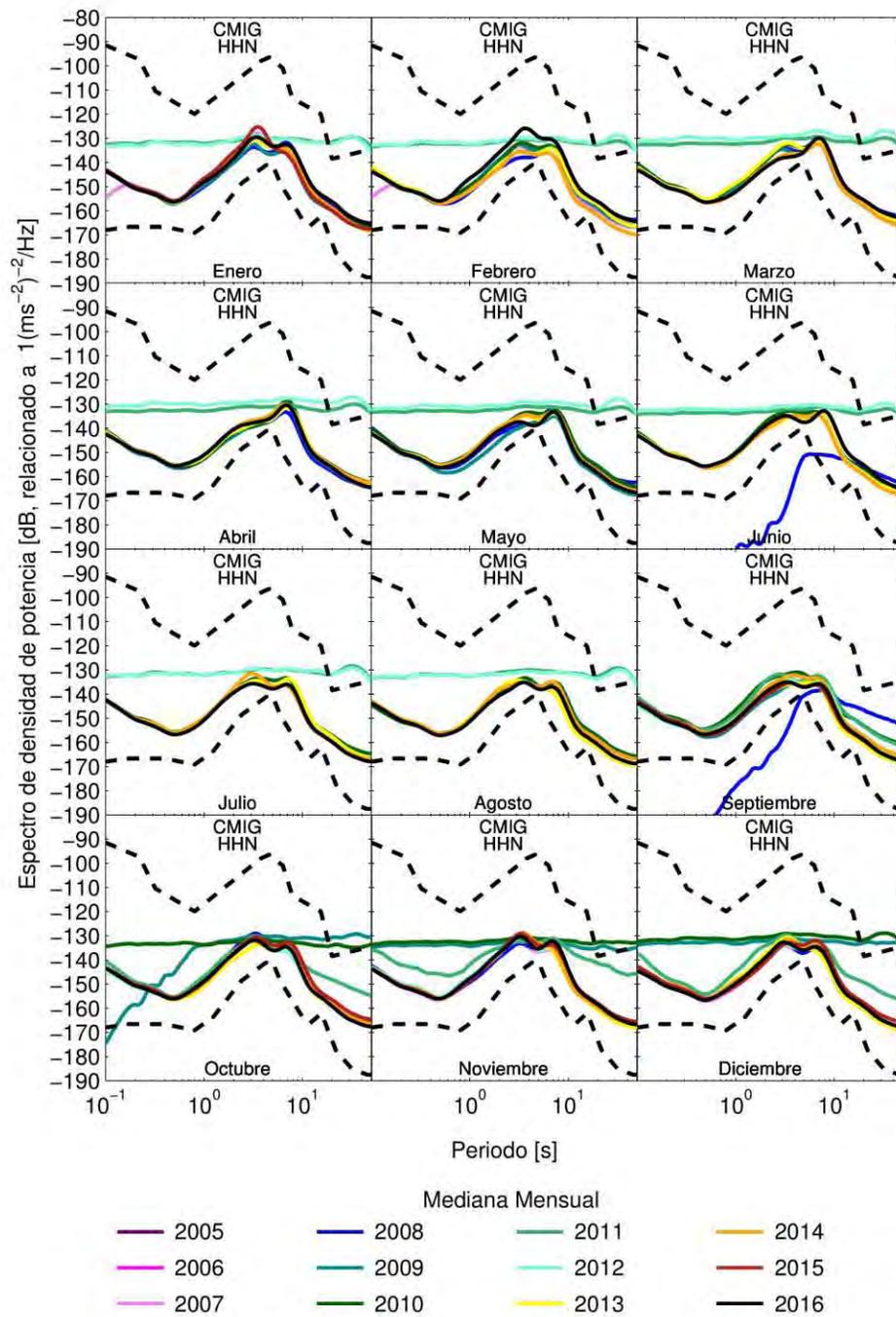


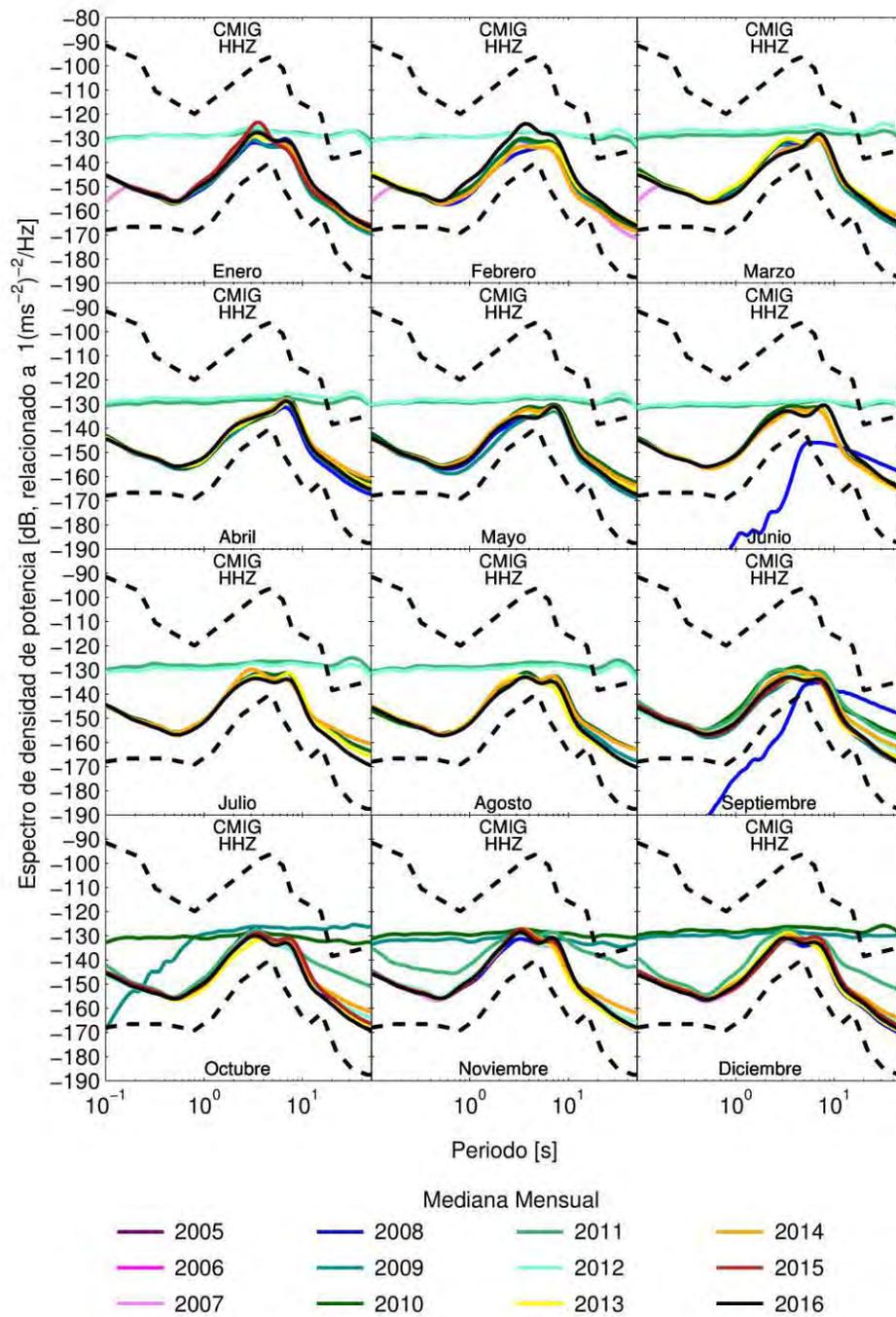


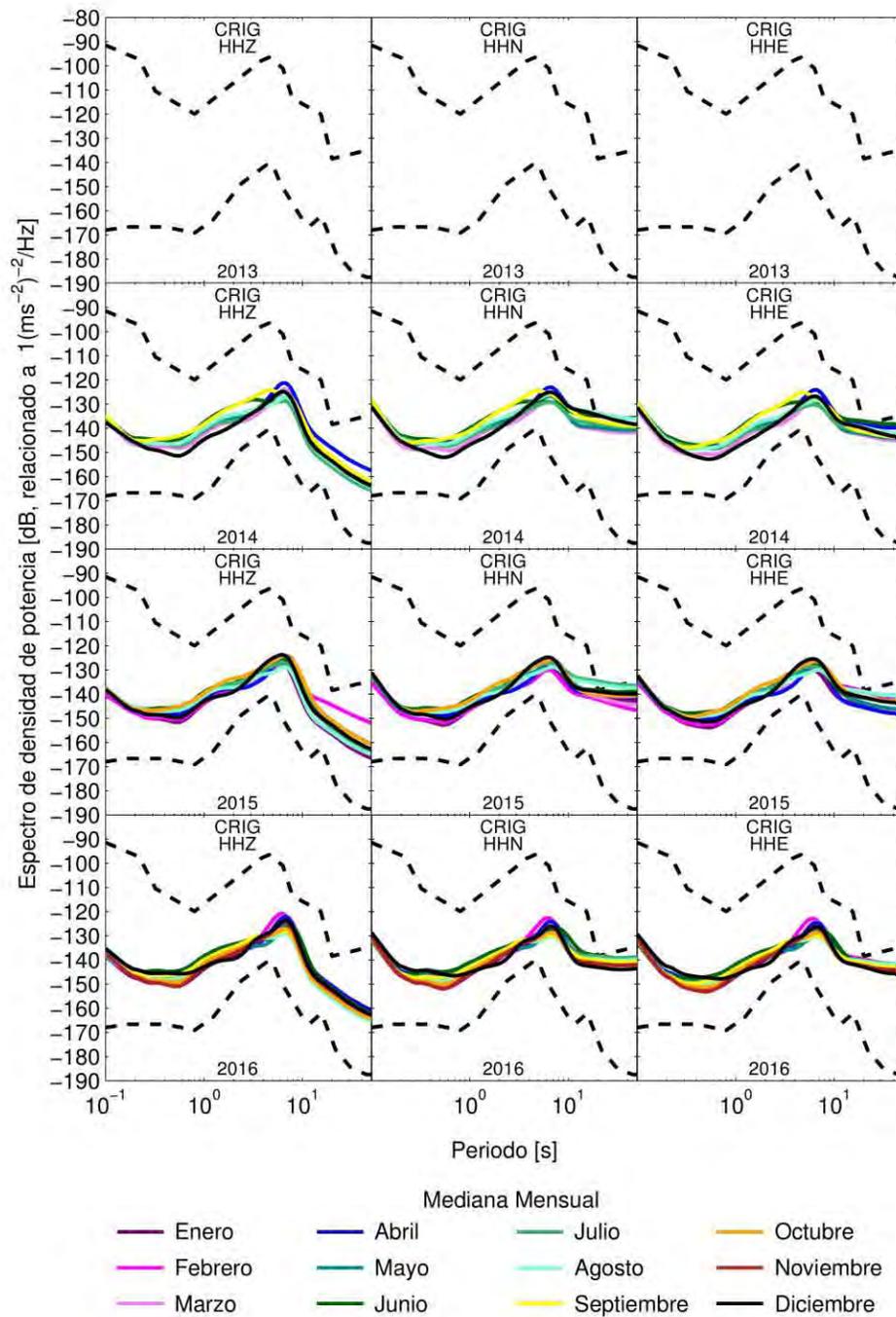


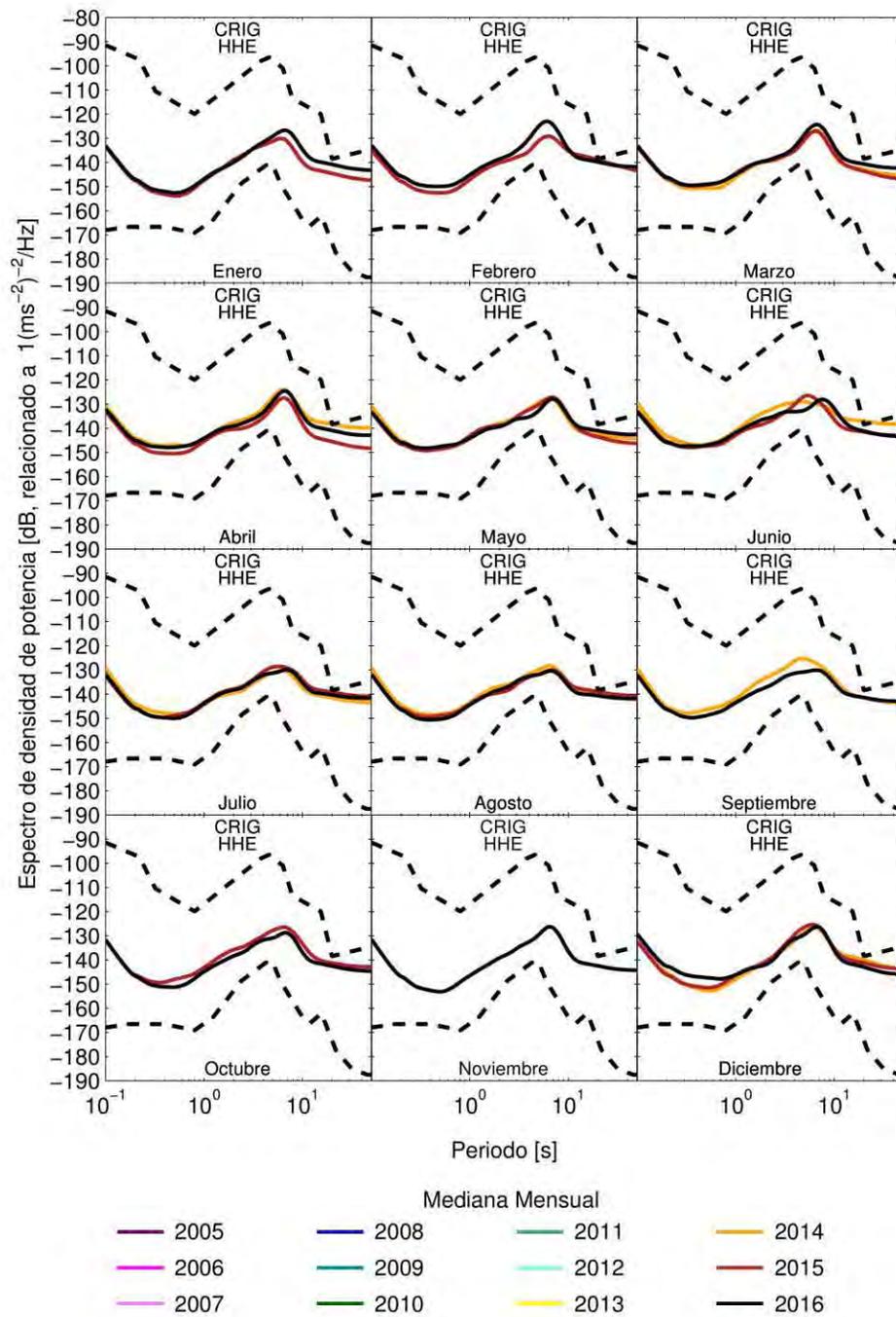


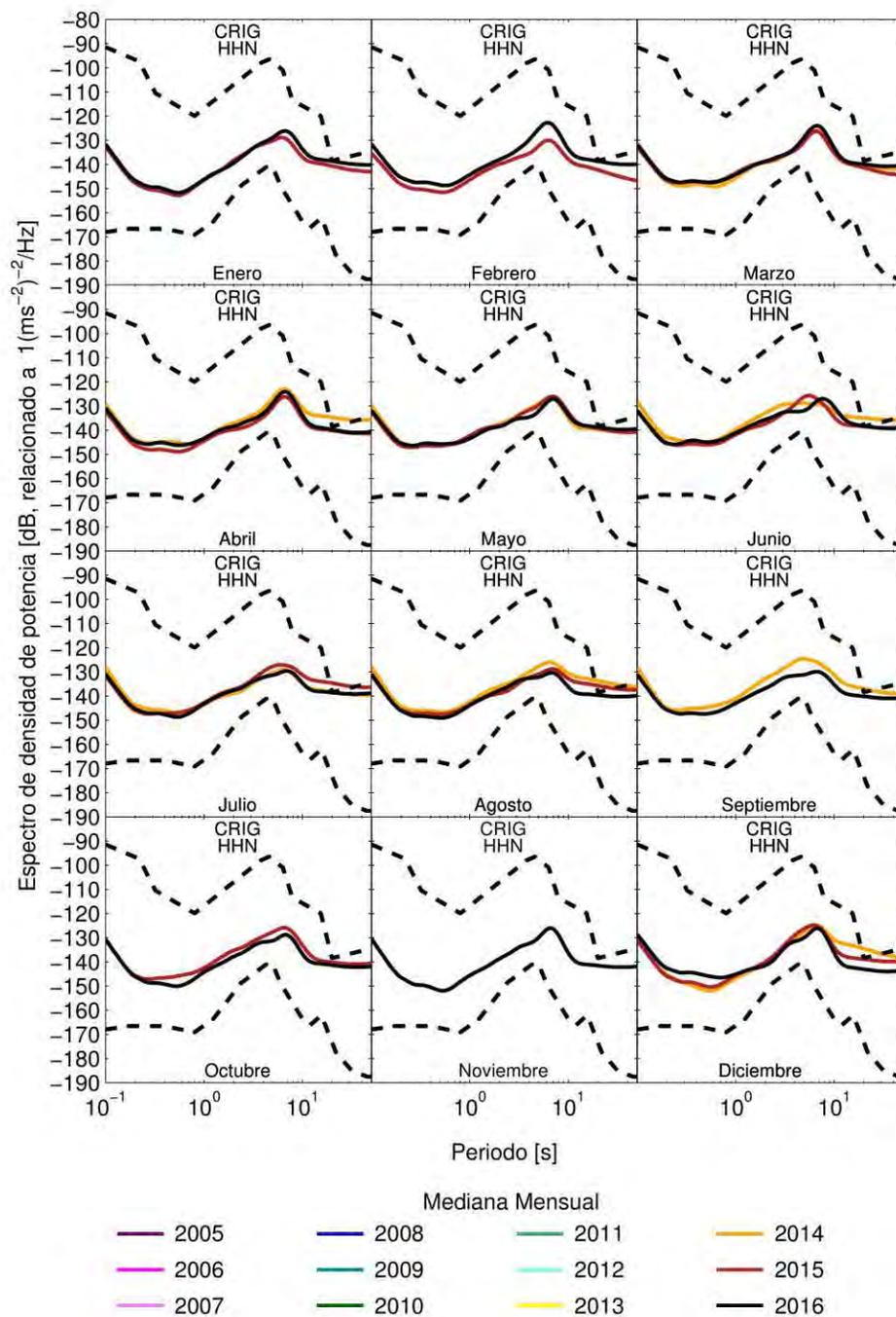


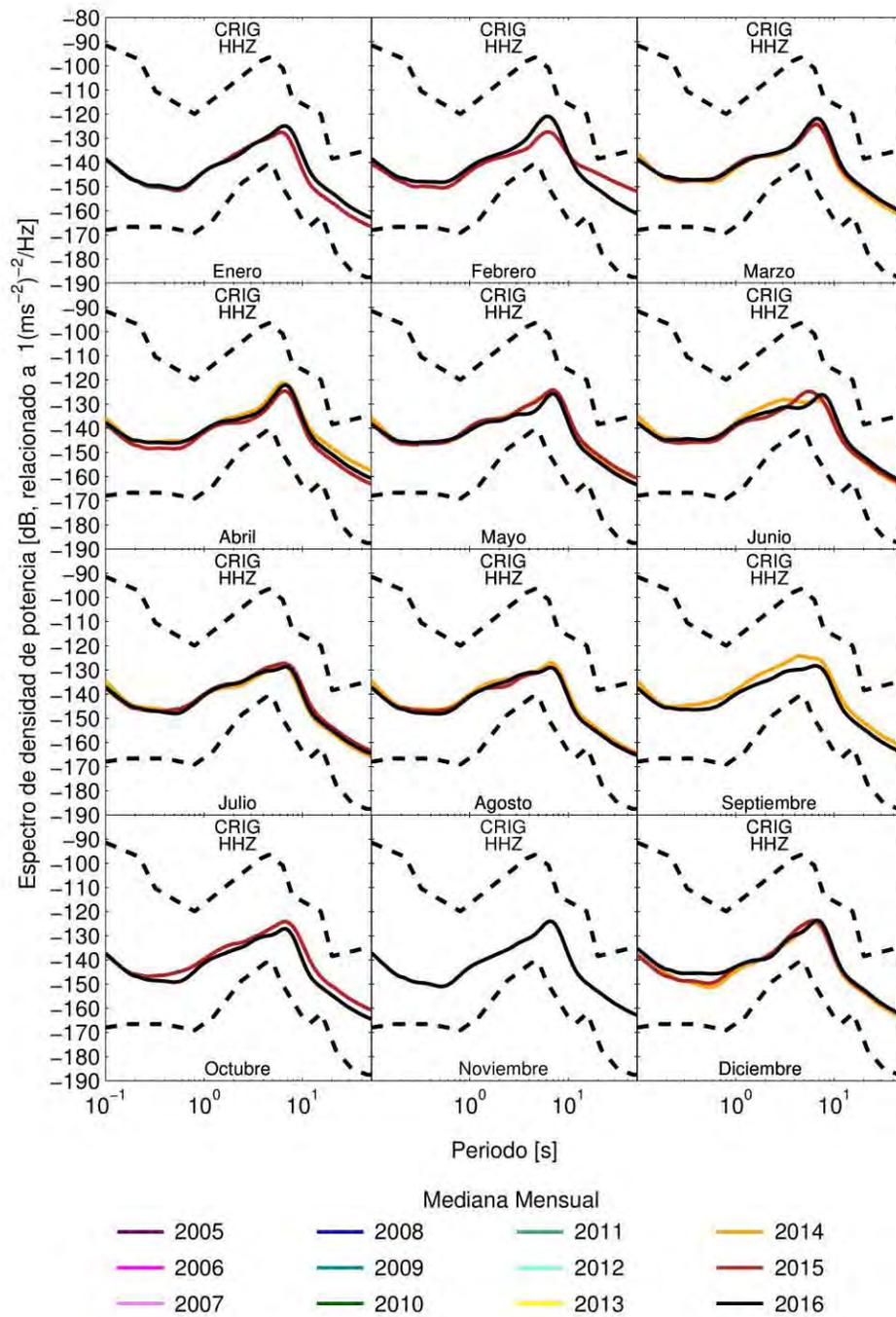


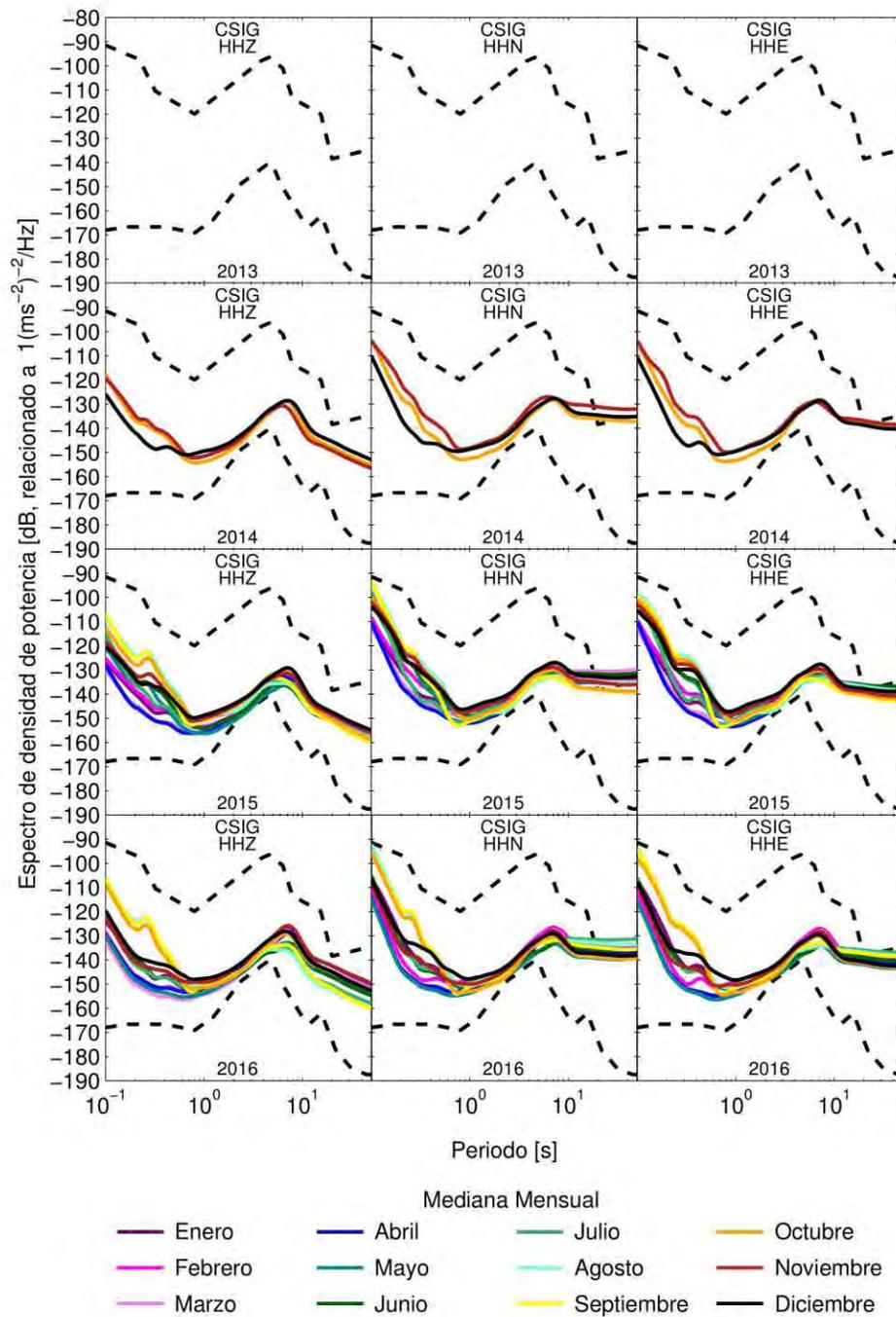


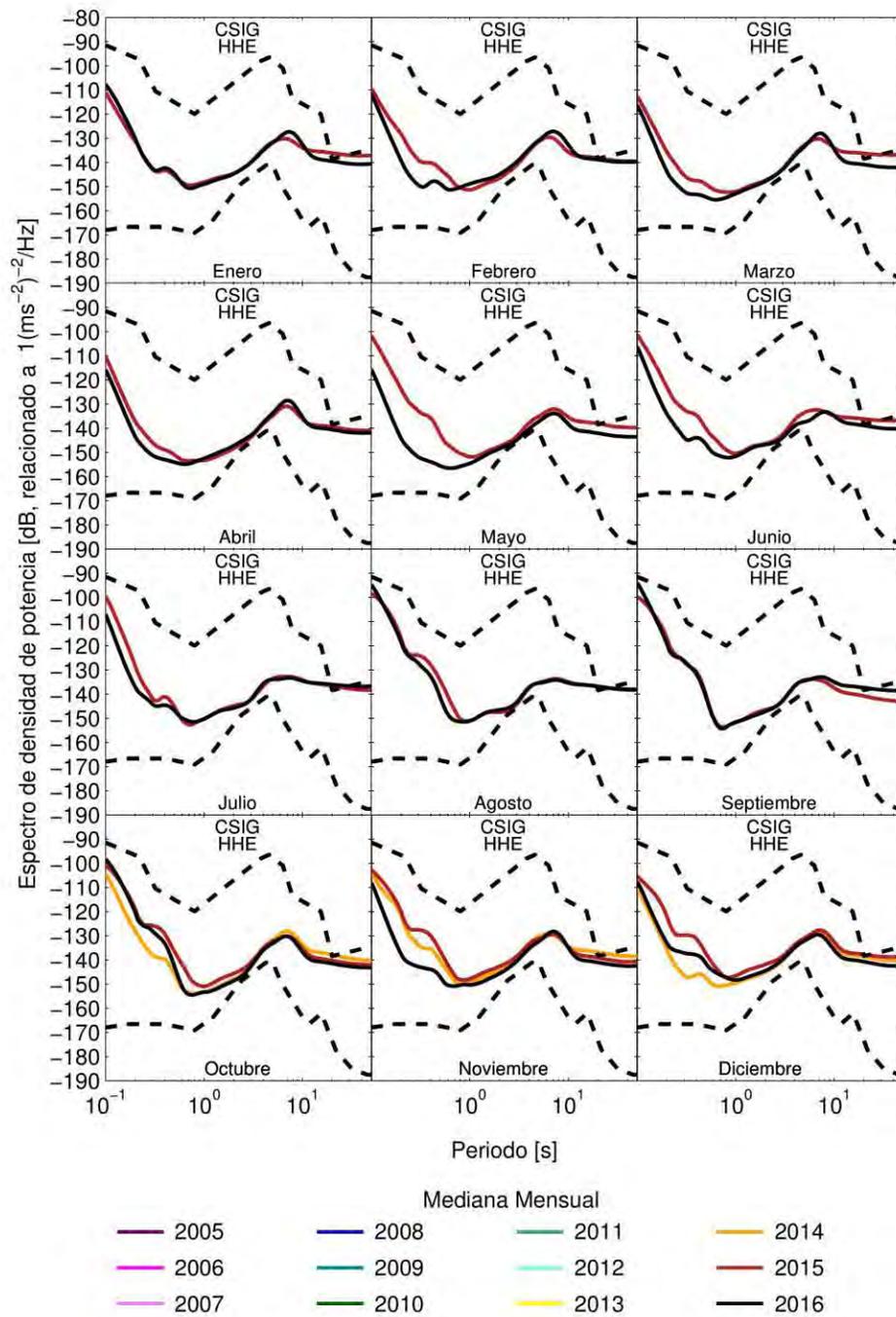


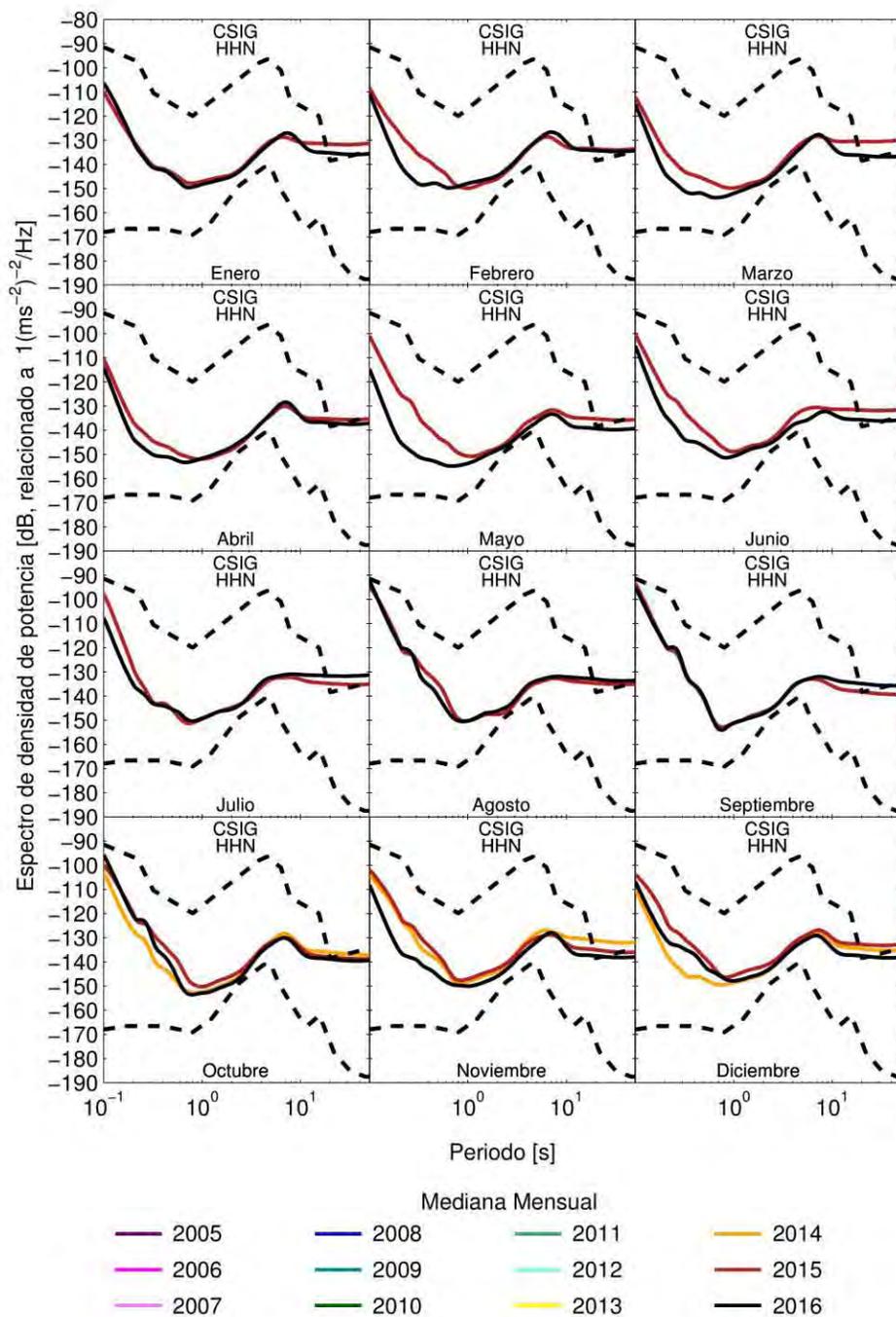


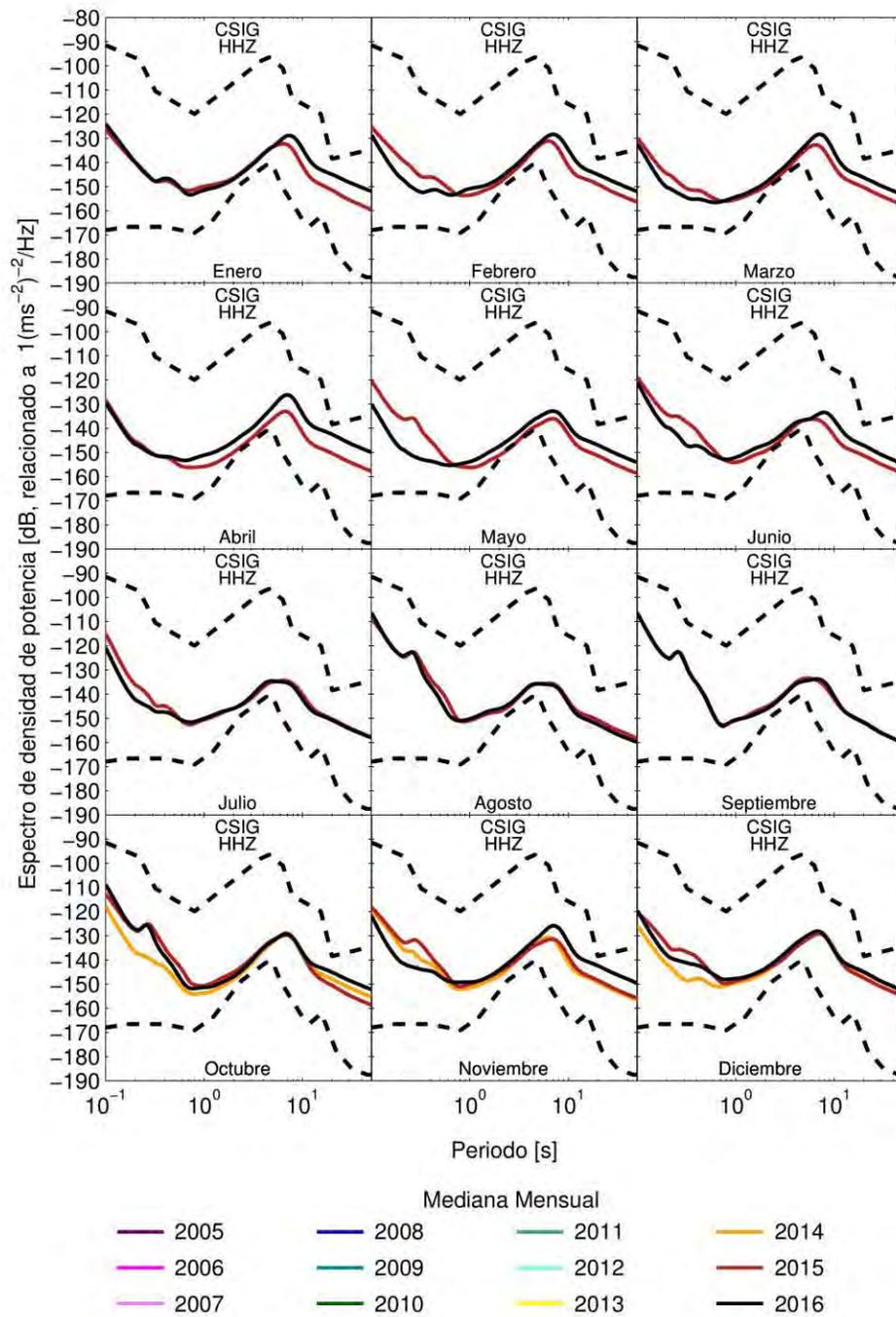


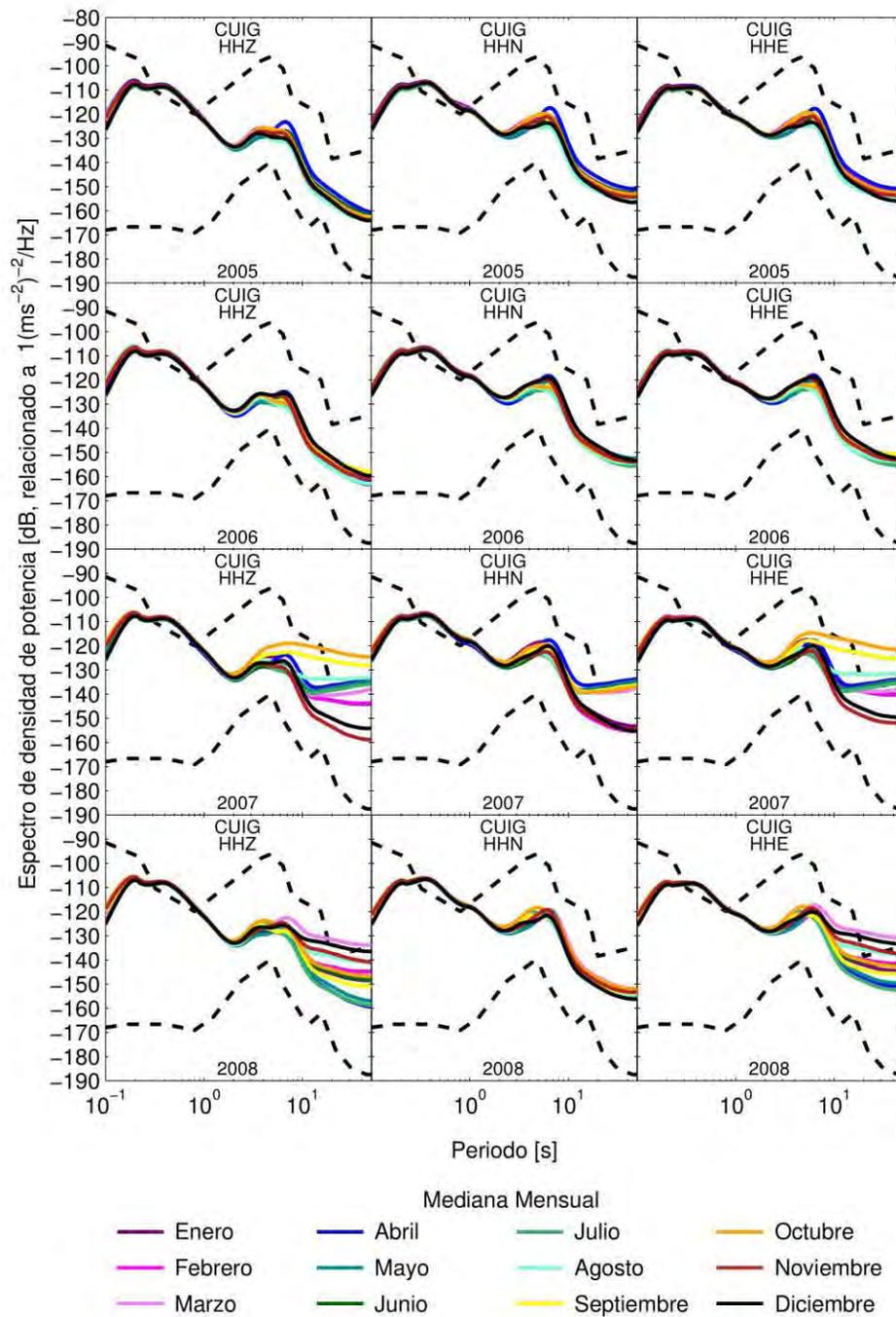


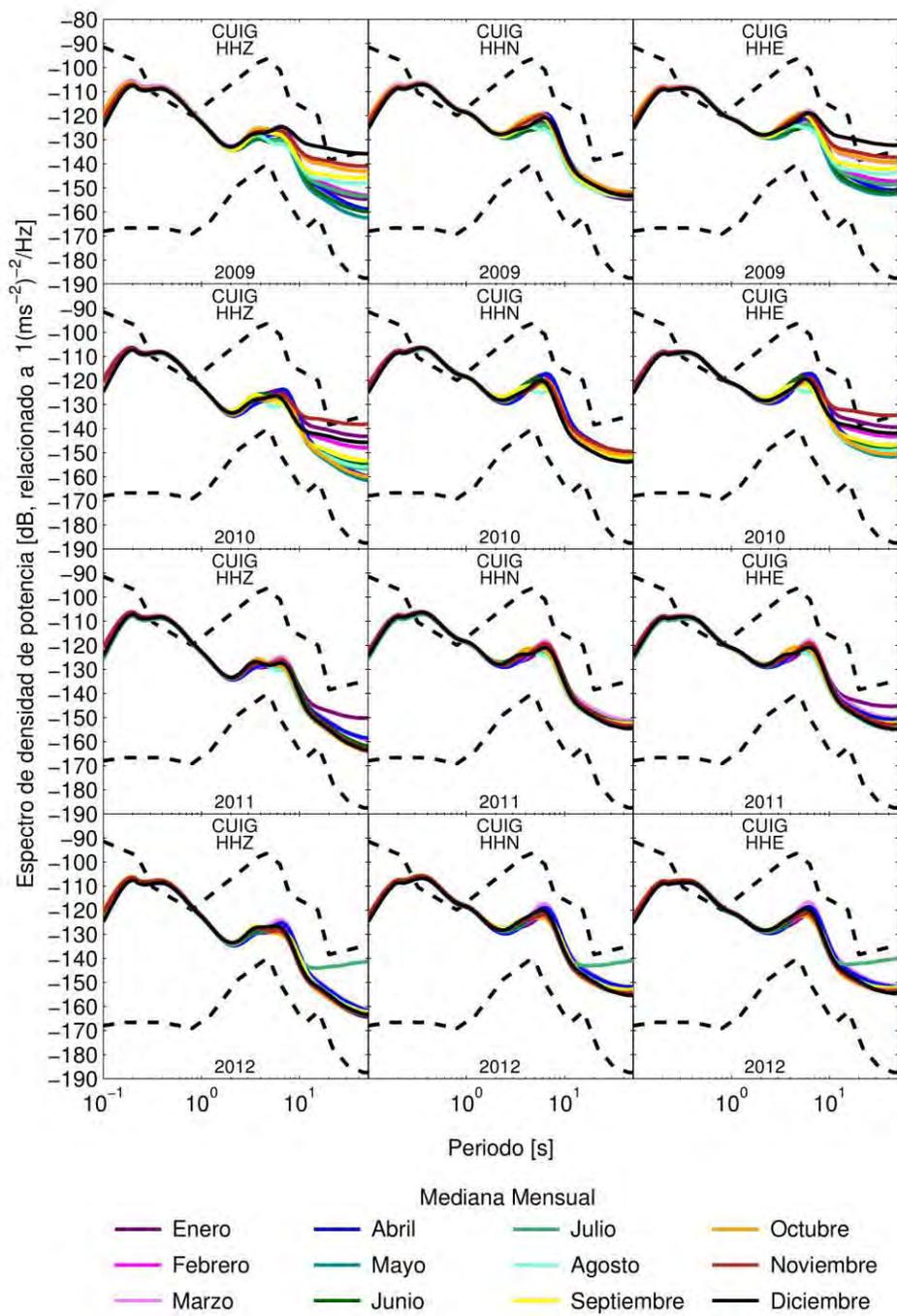


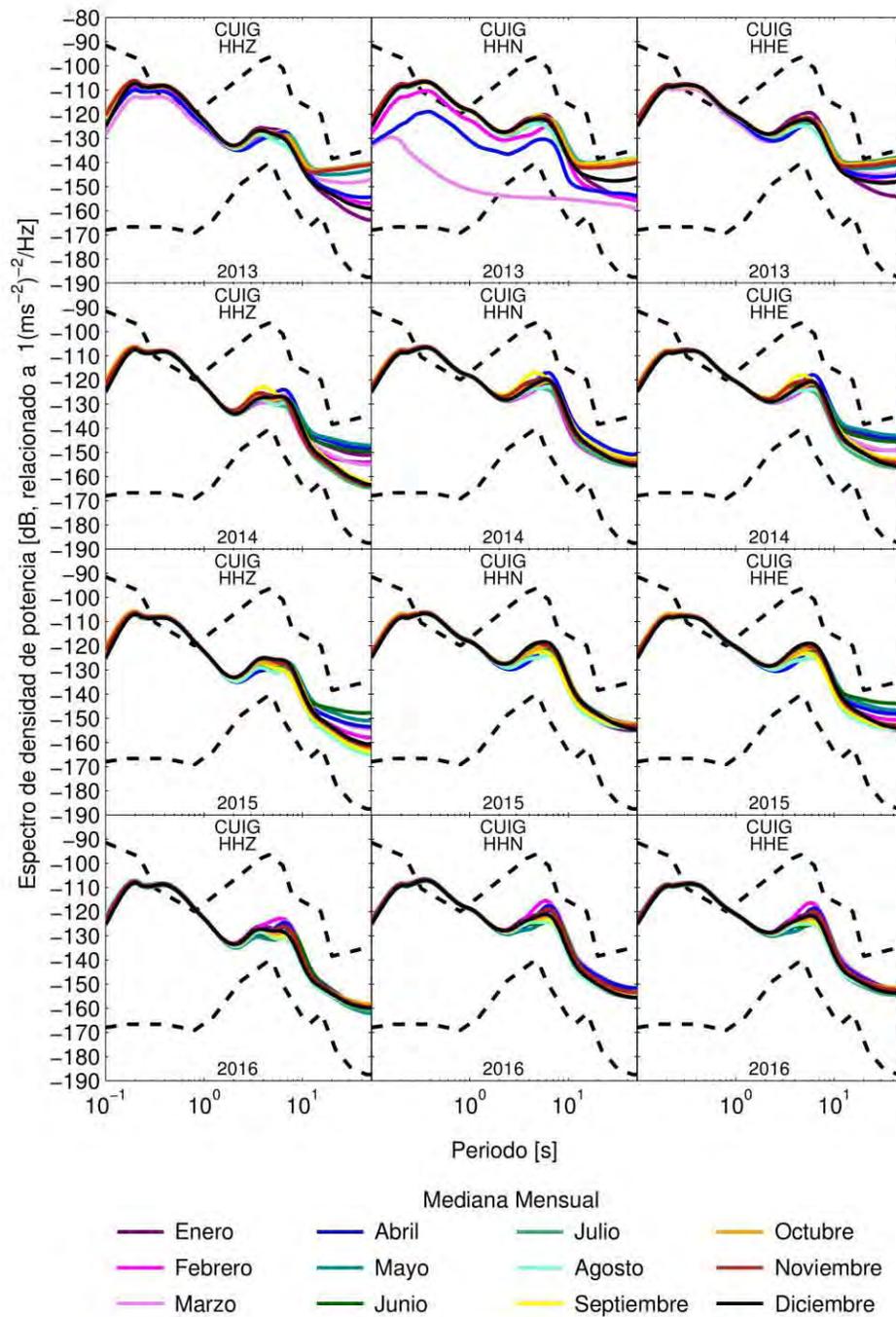


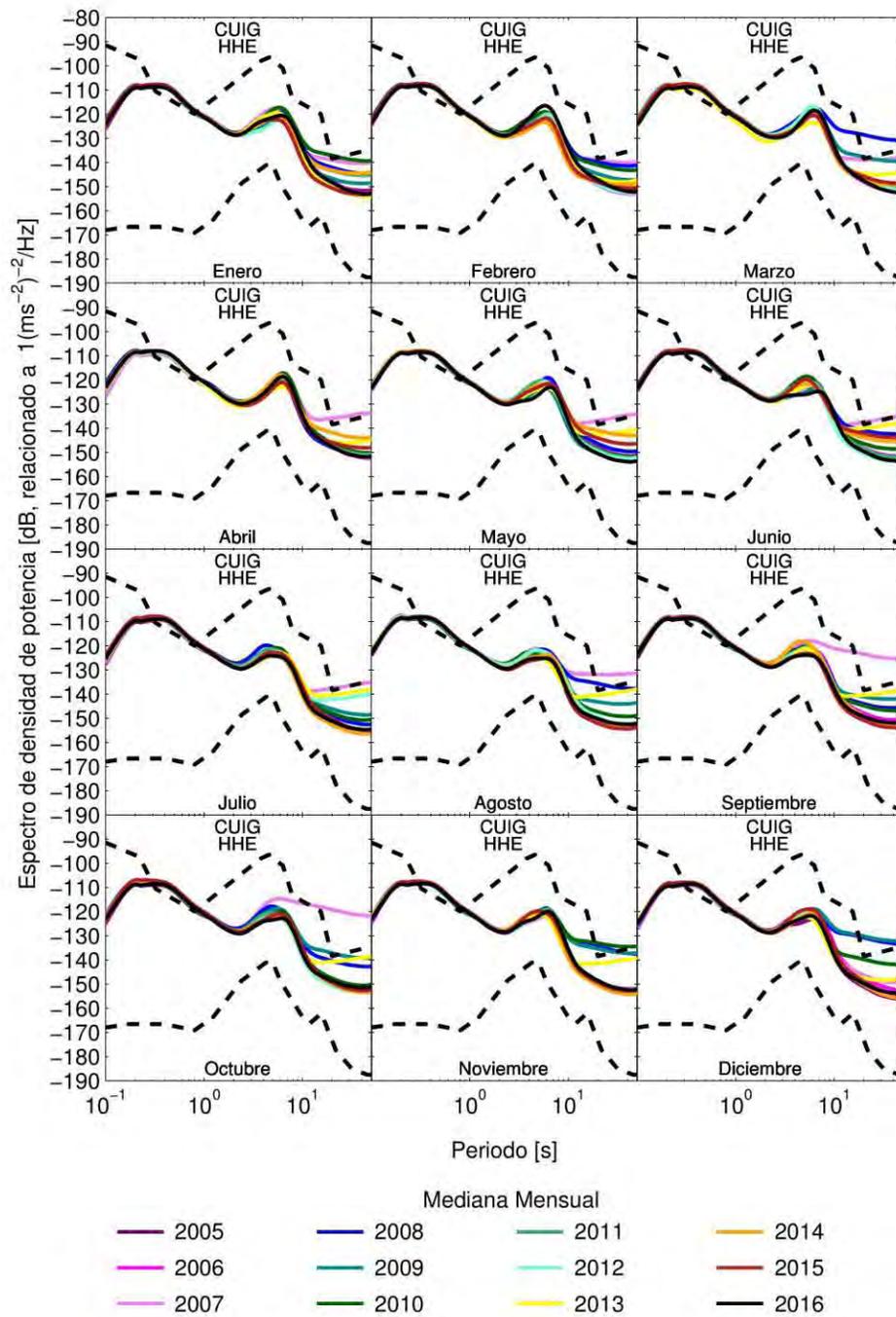


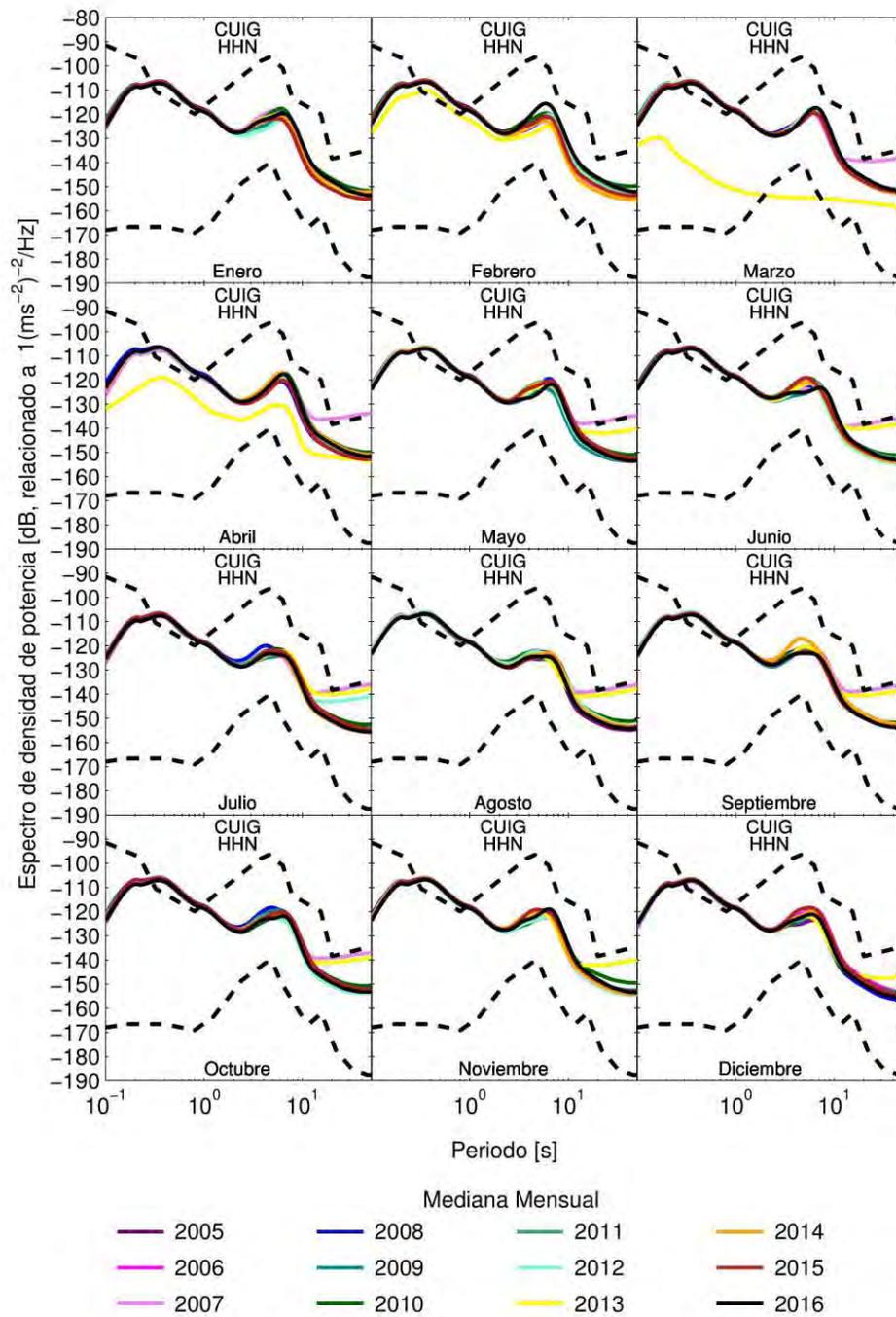


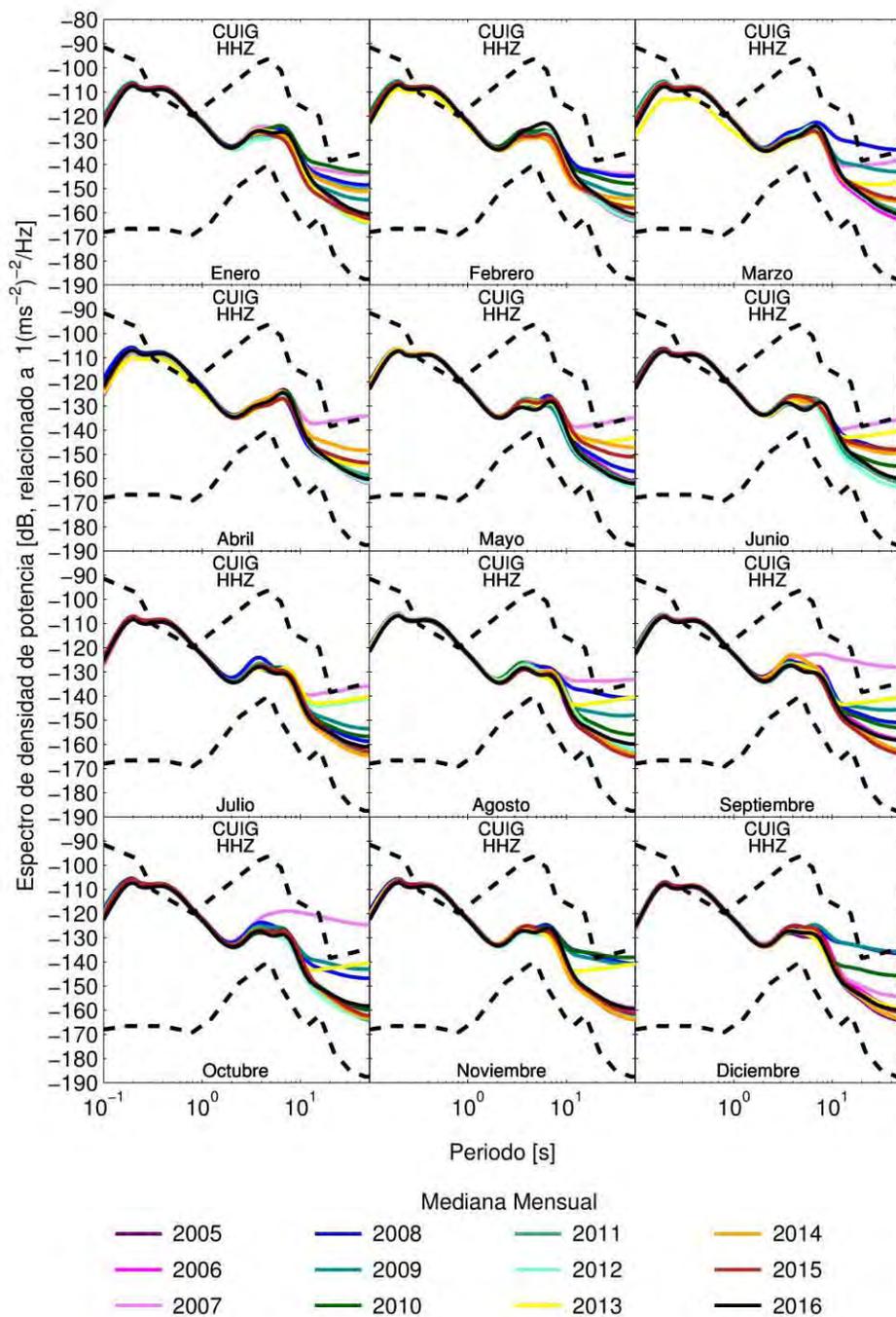


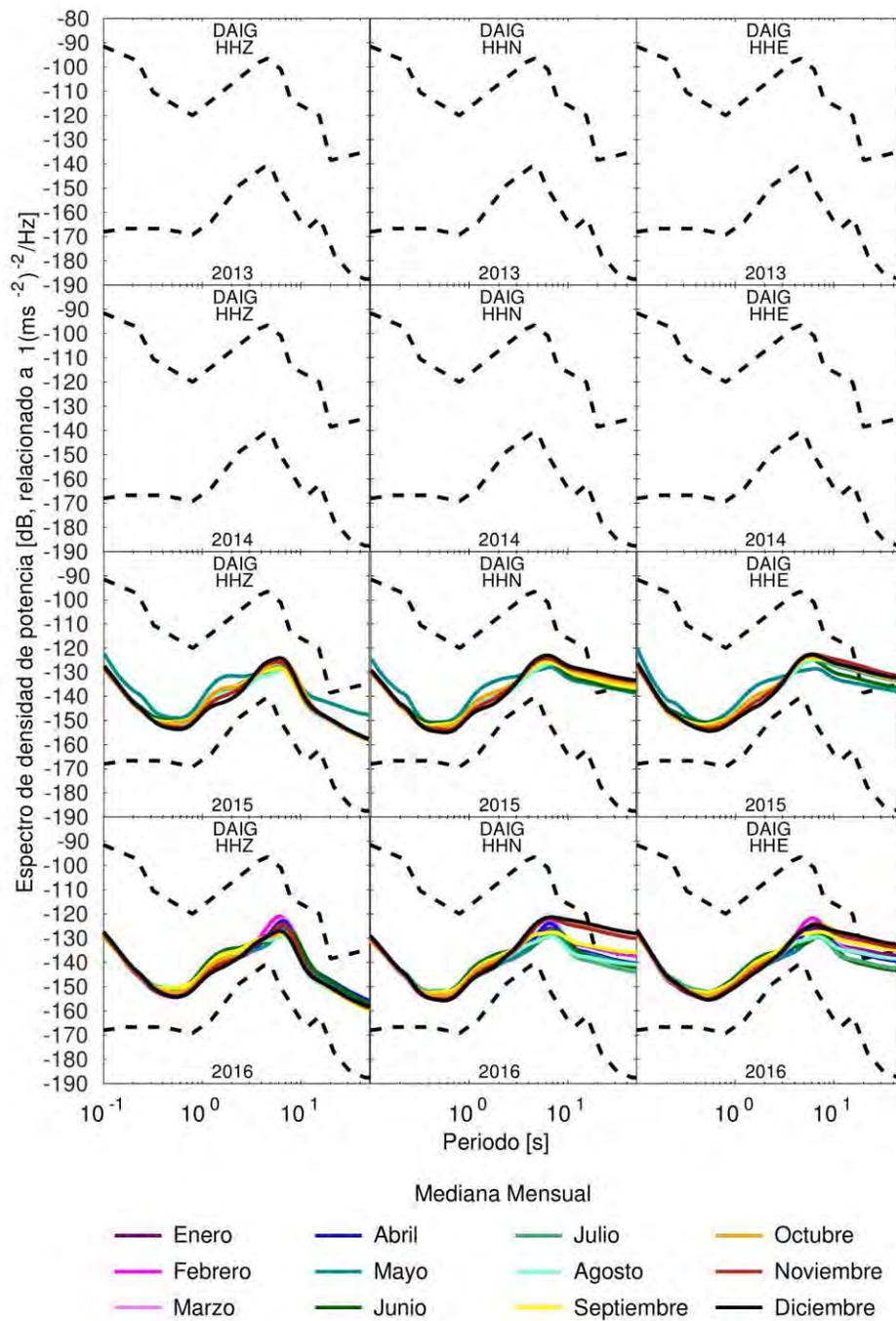


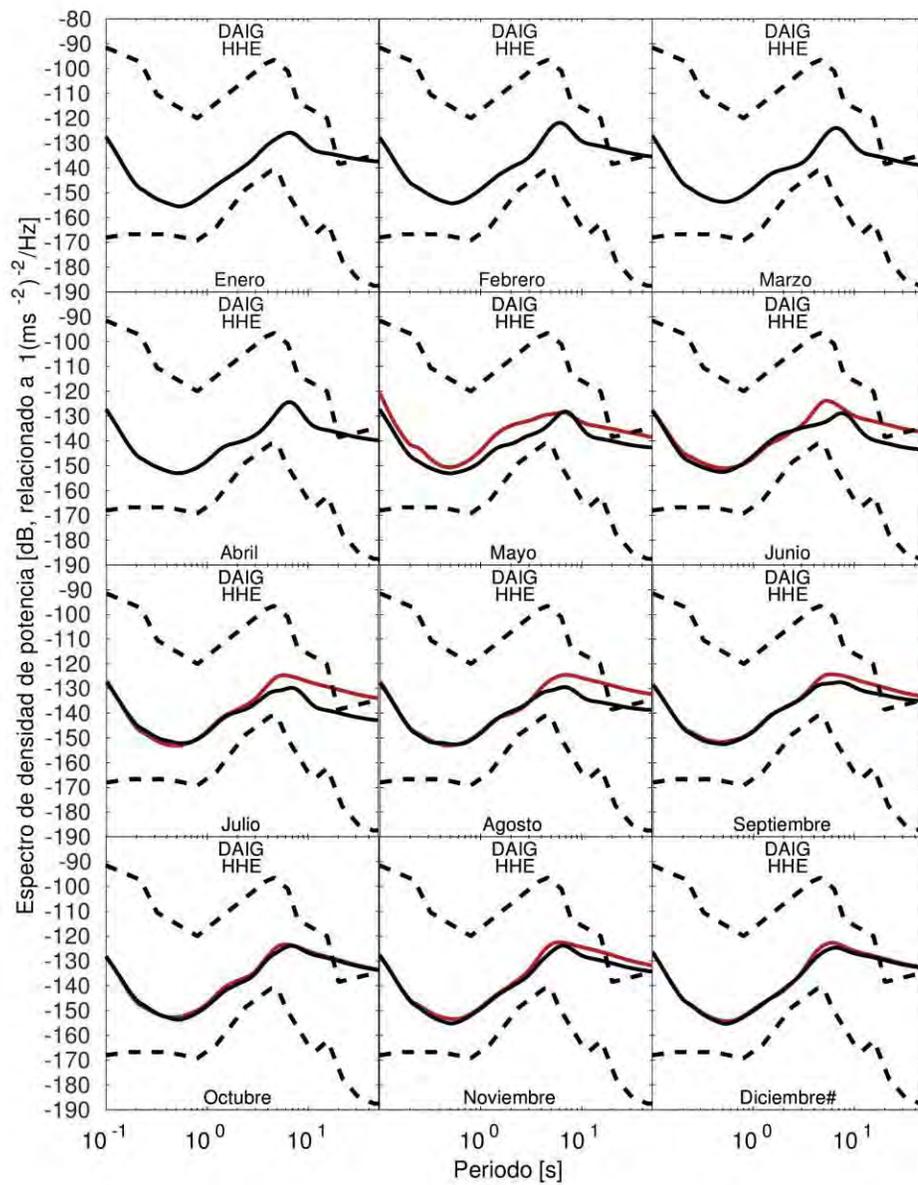






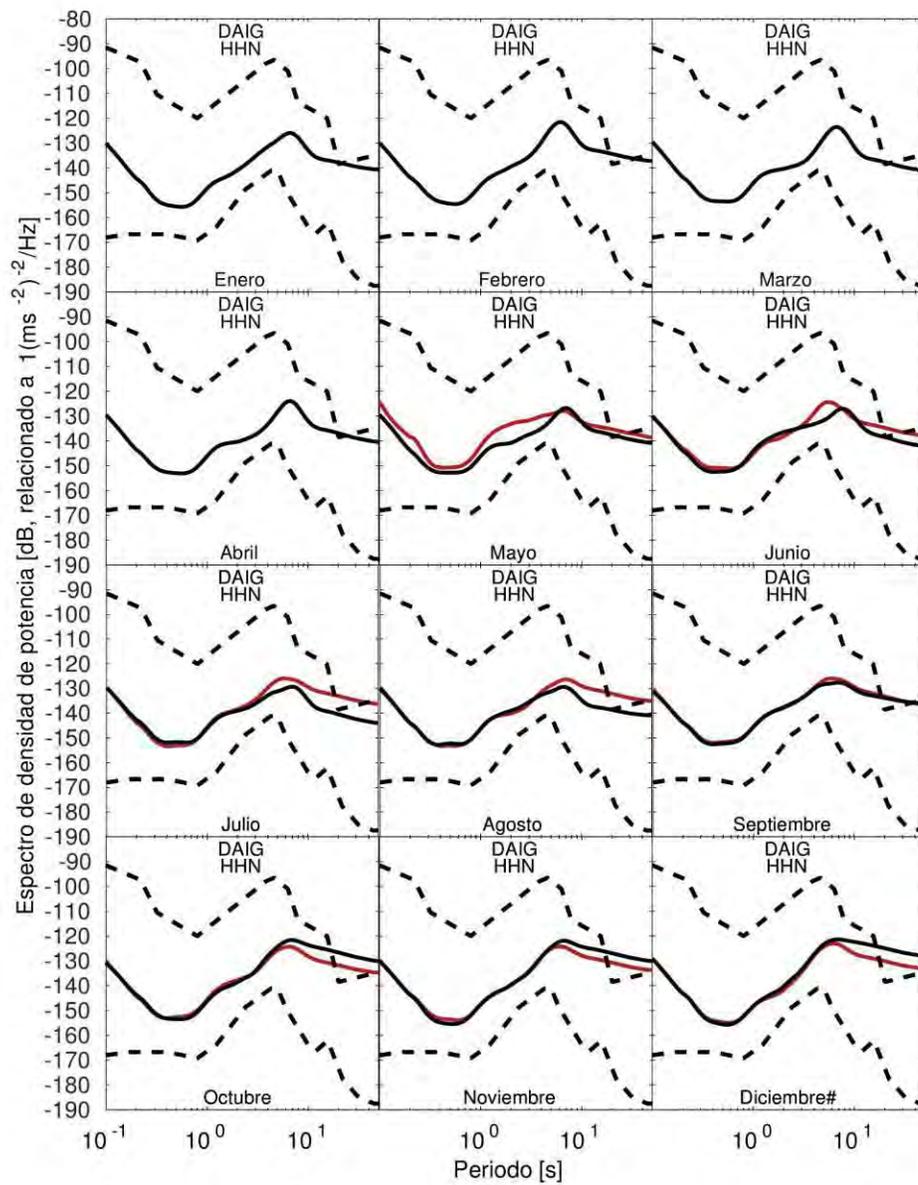






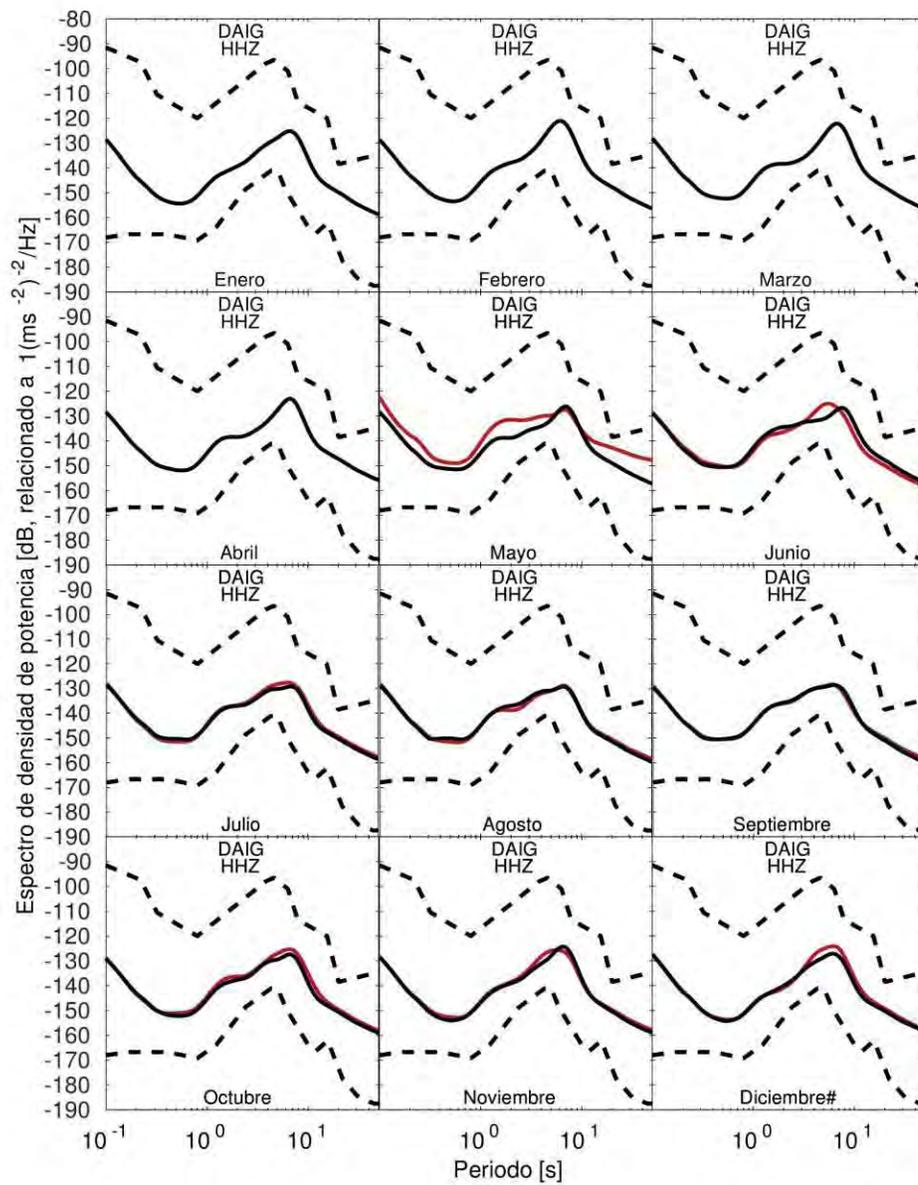
Mediana Mensual





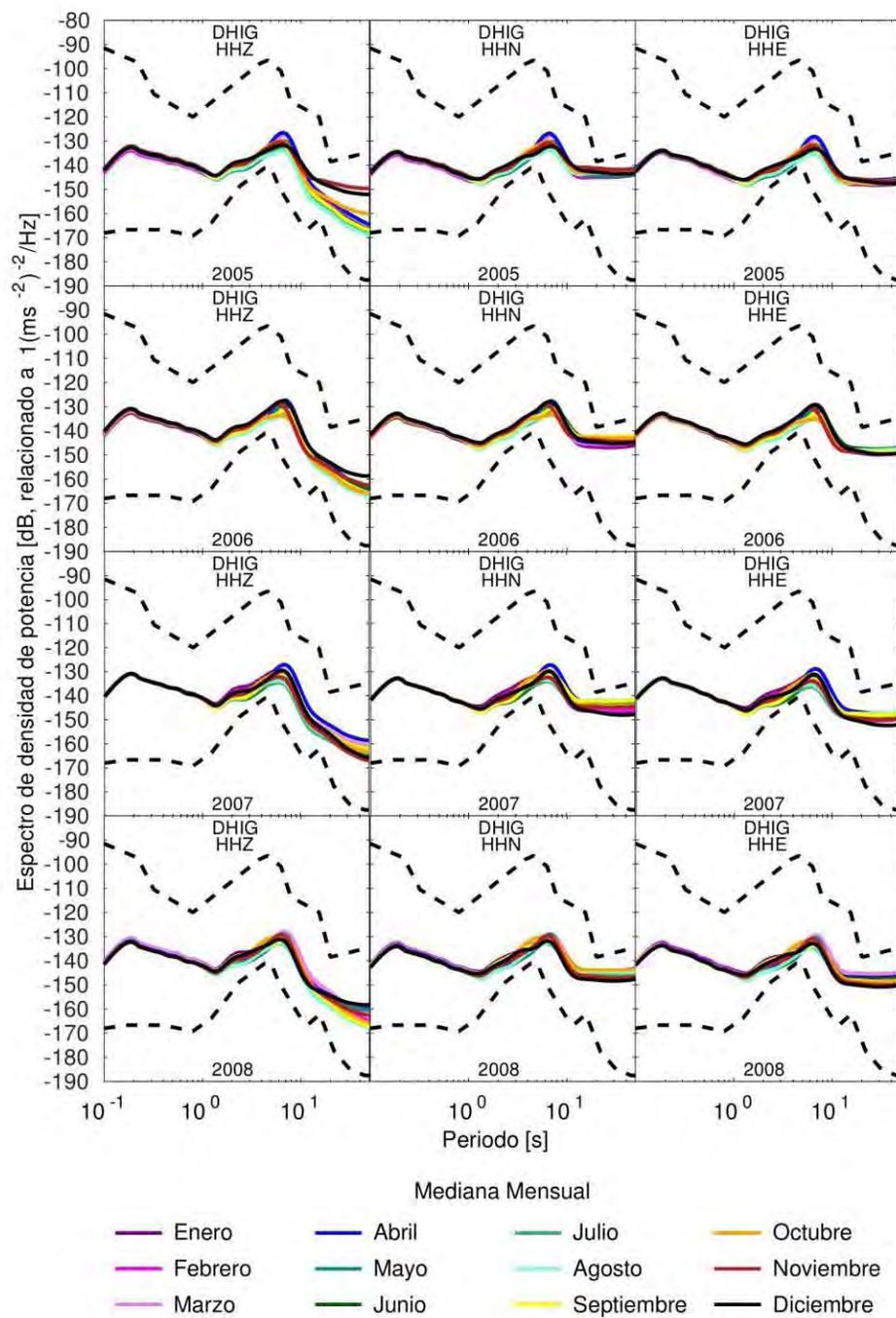
Mediana Mensual

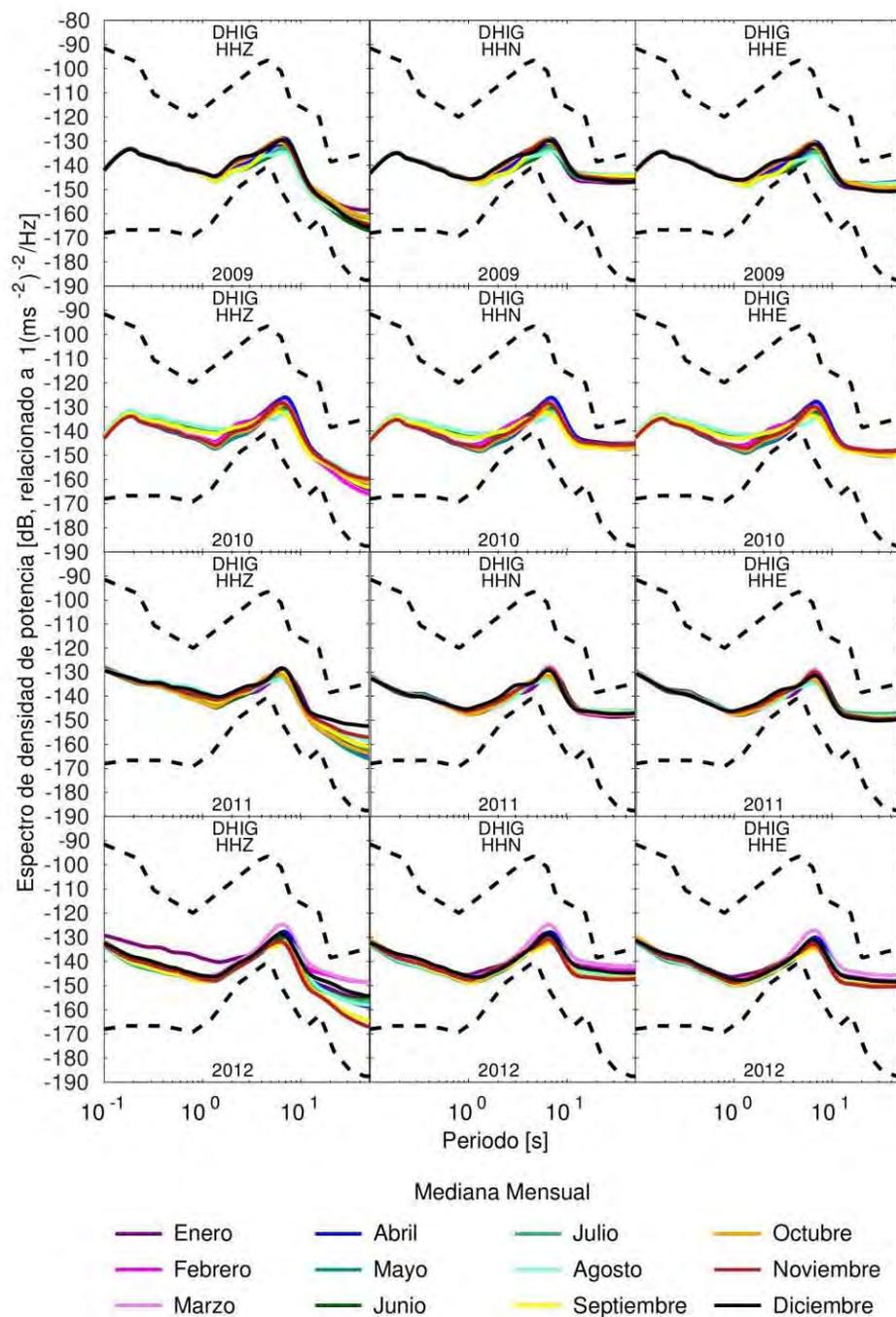


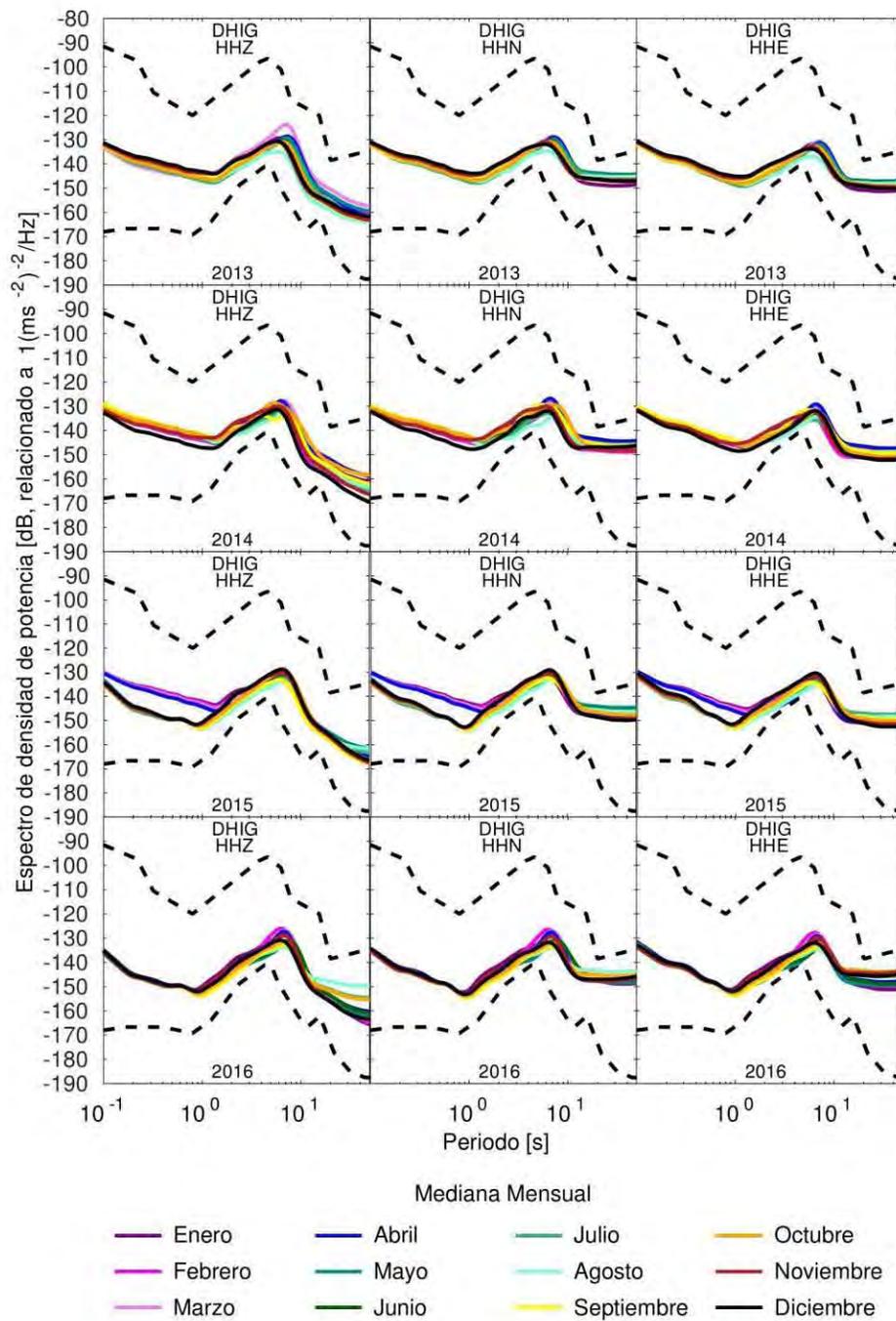


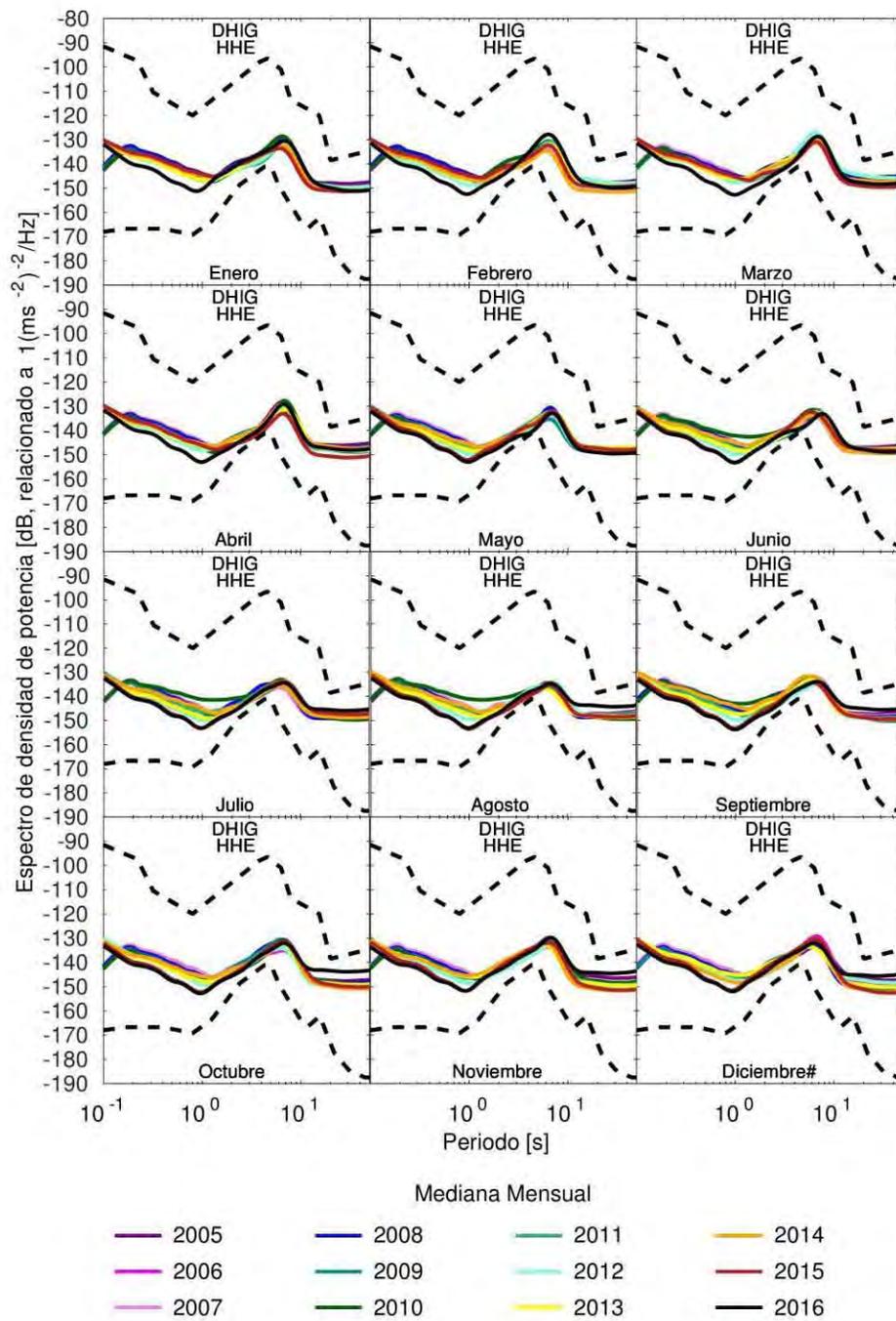
Mediana Mensual

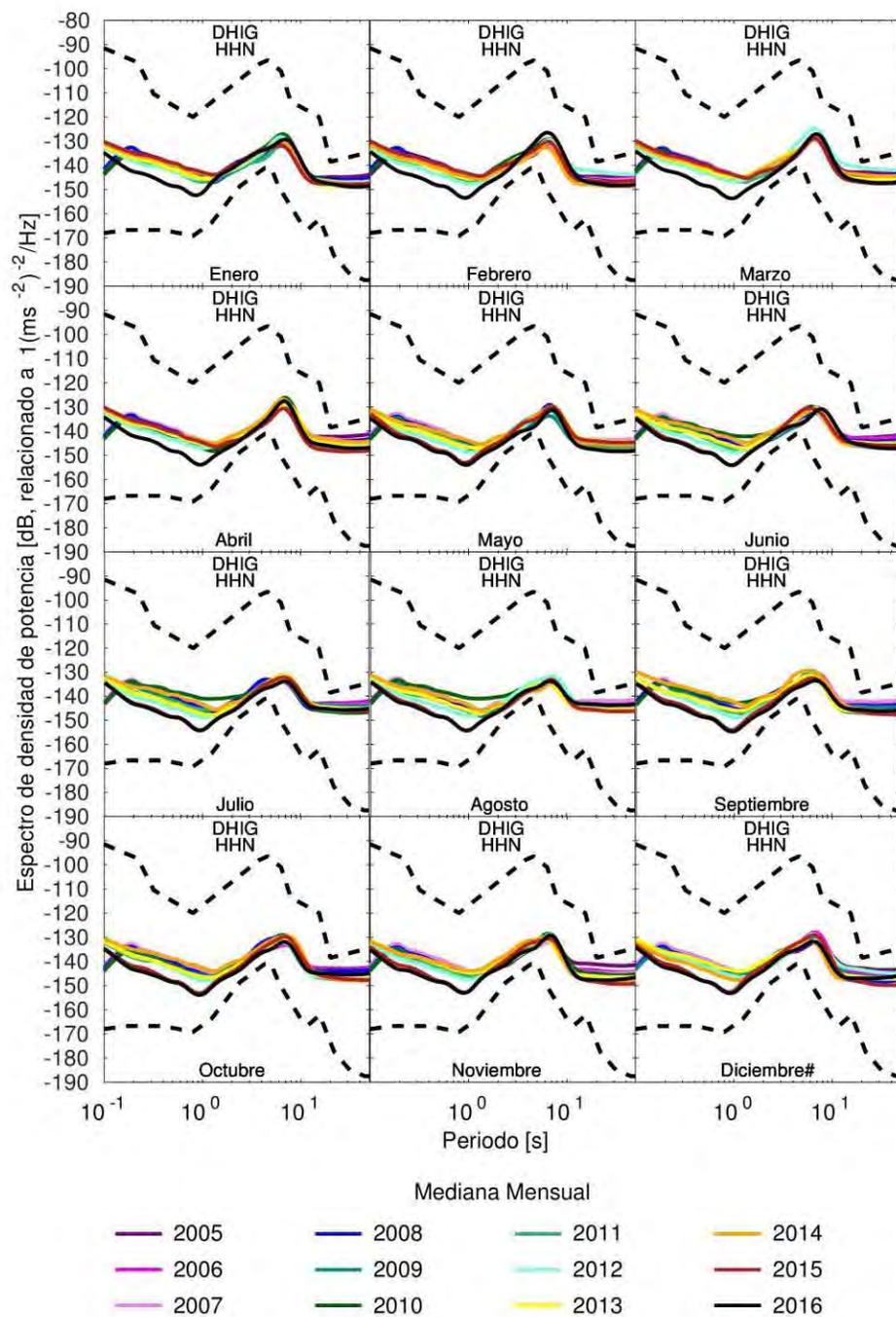


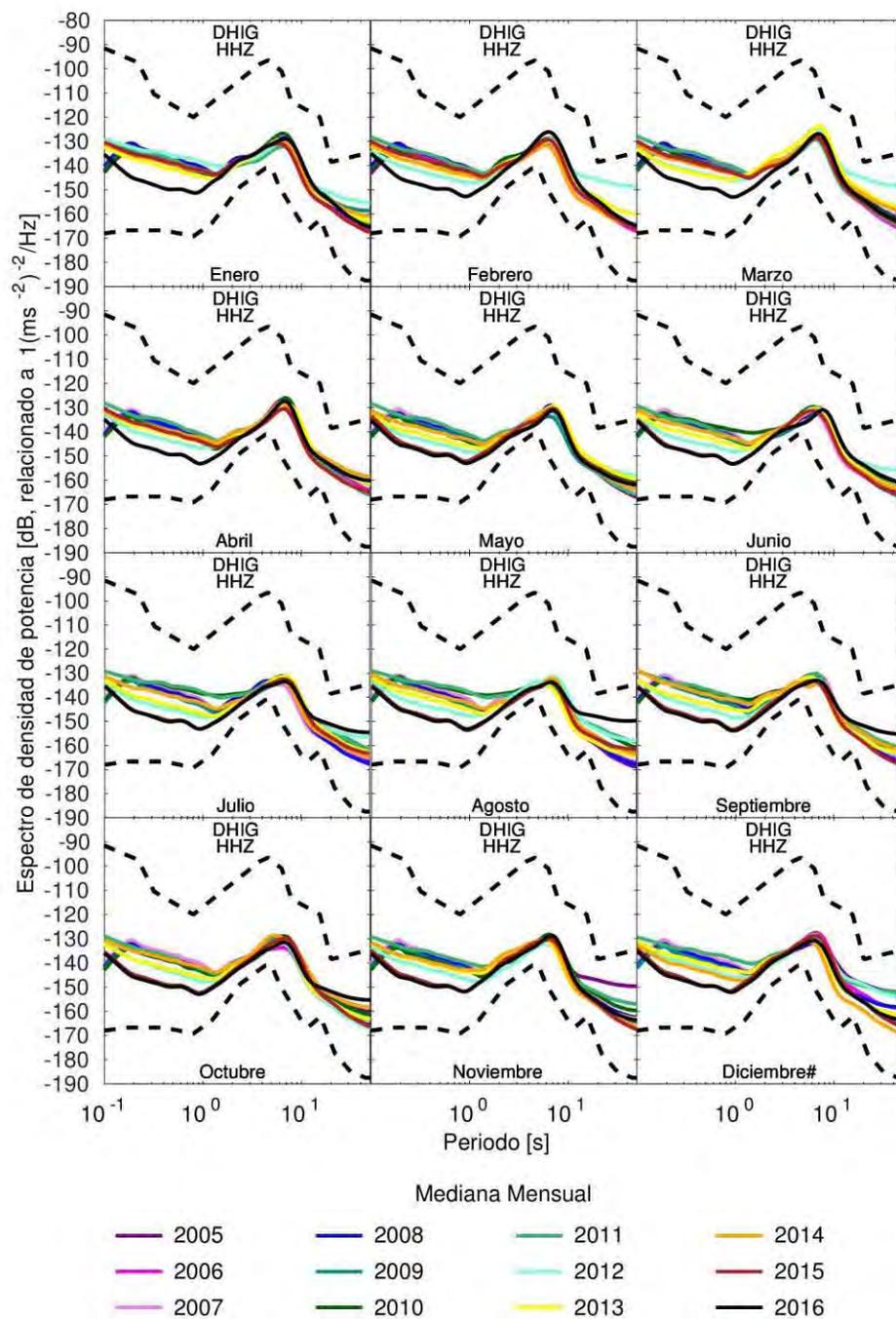


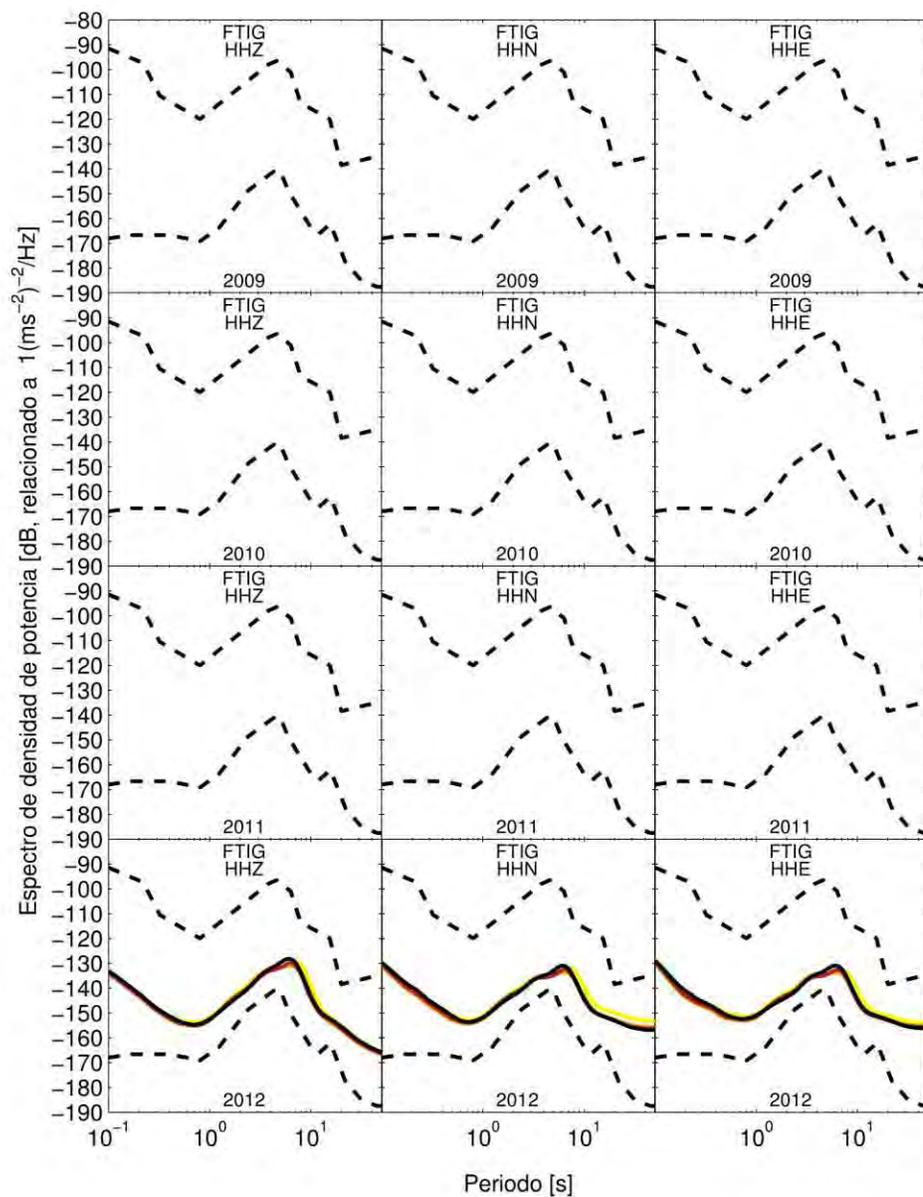


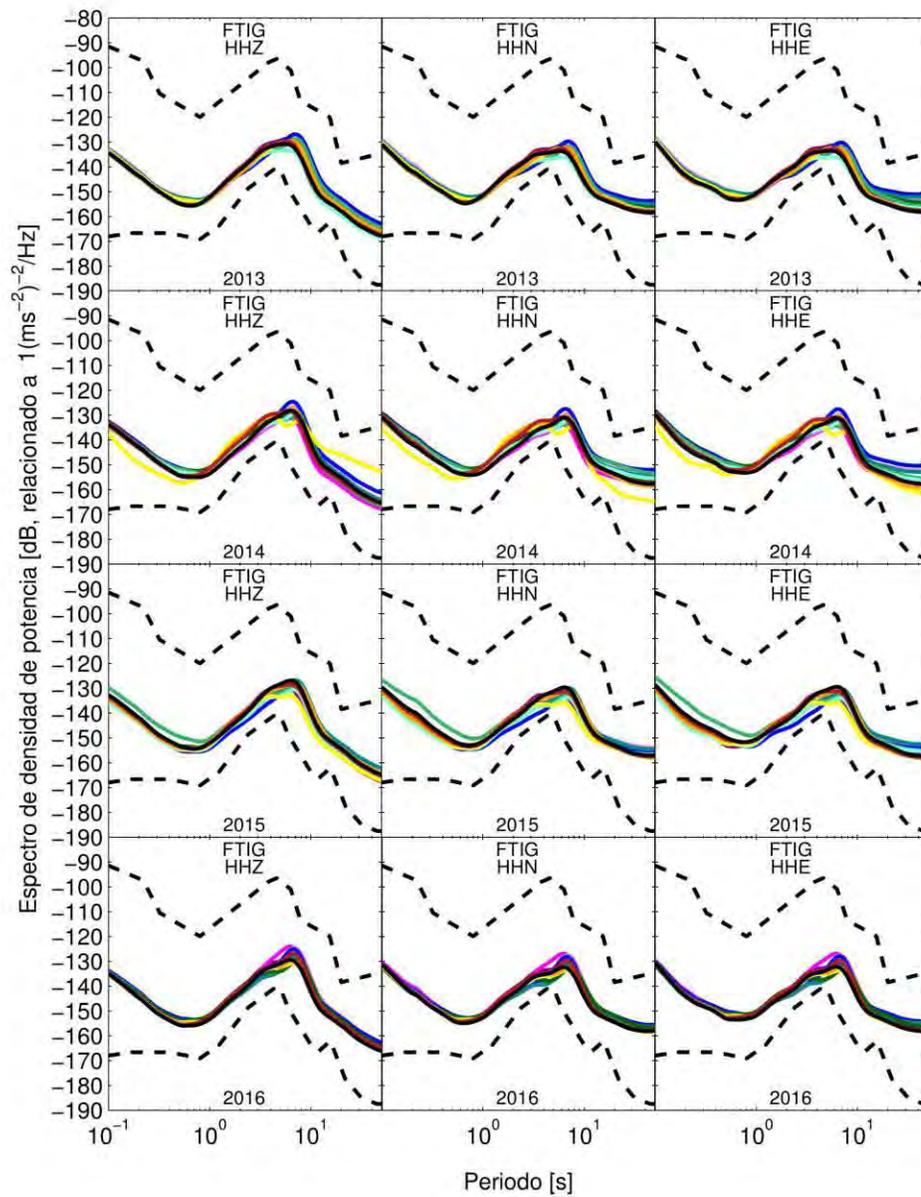


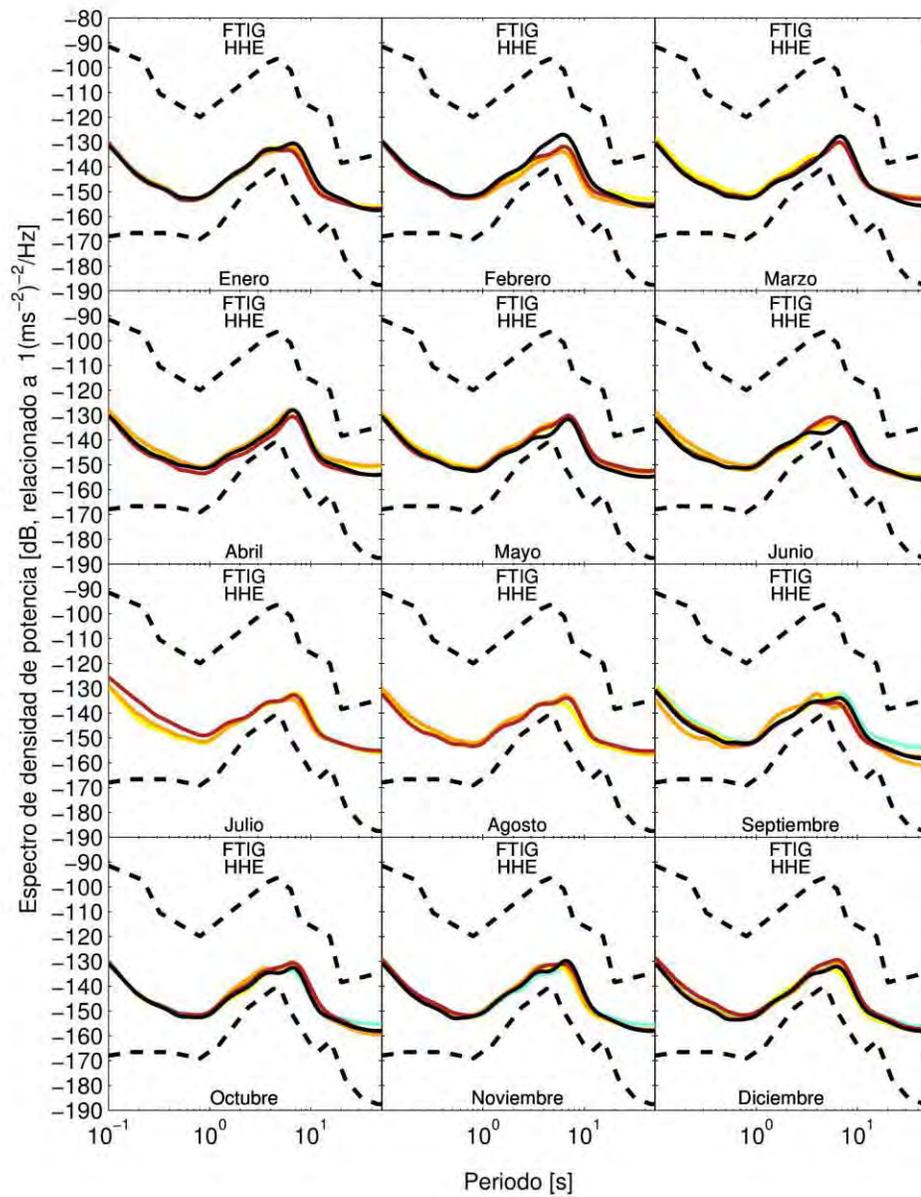


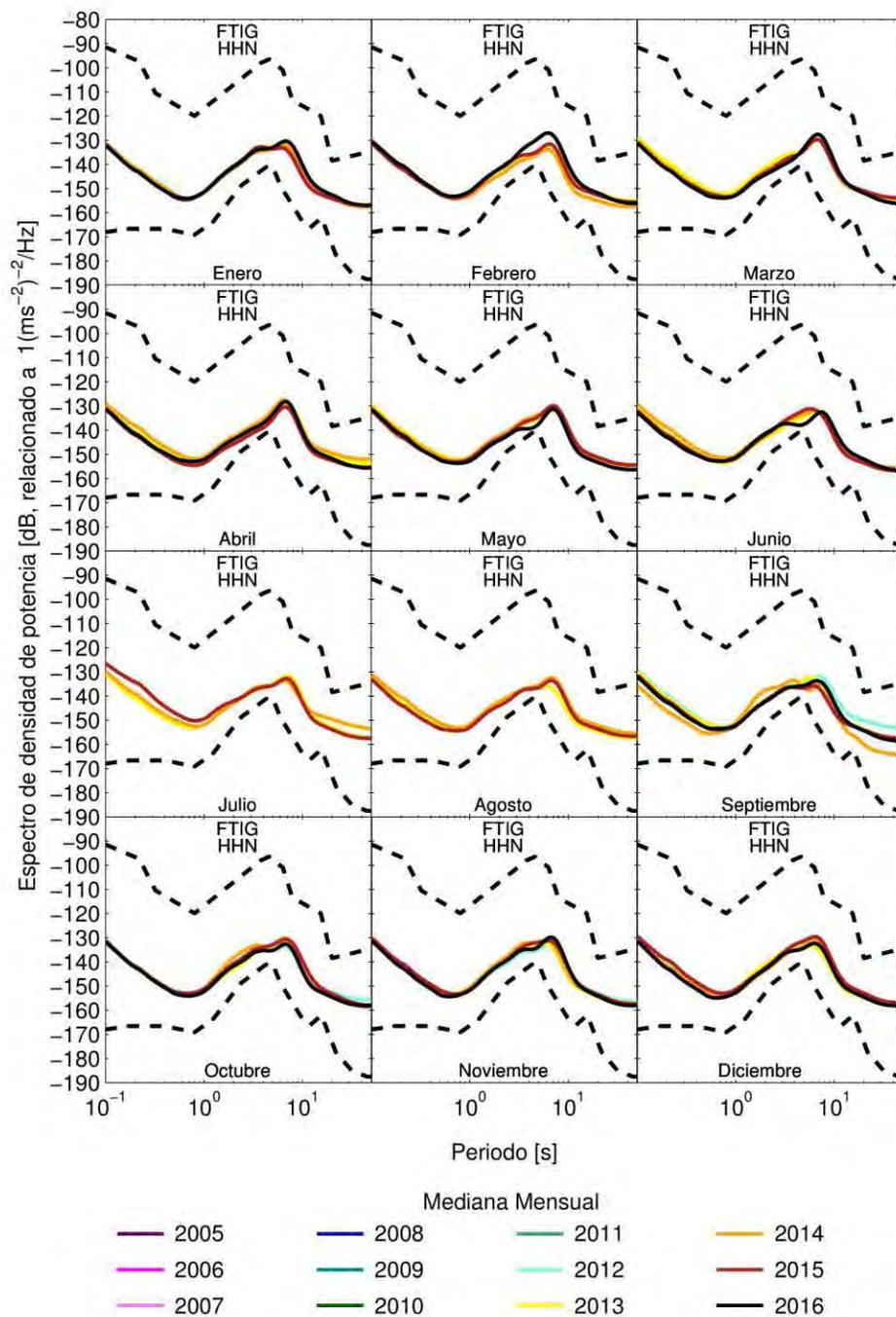


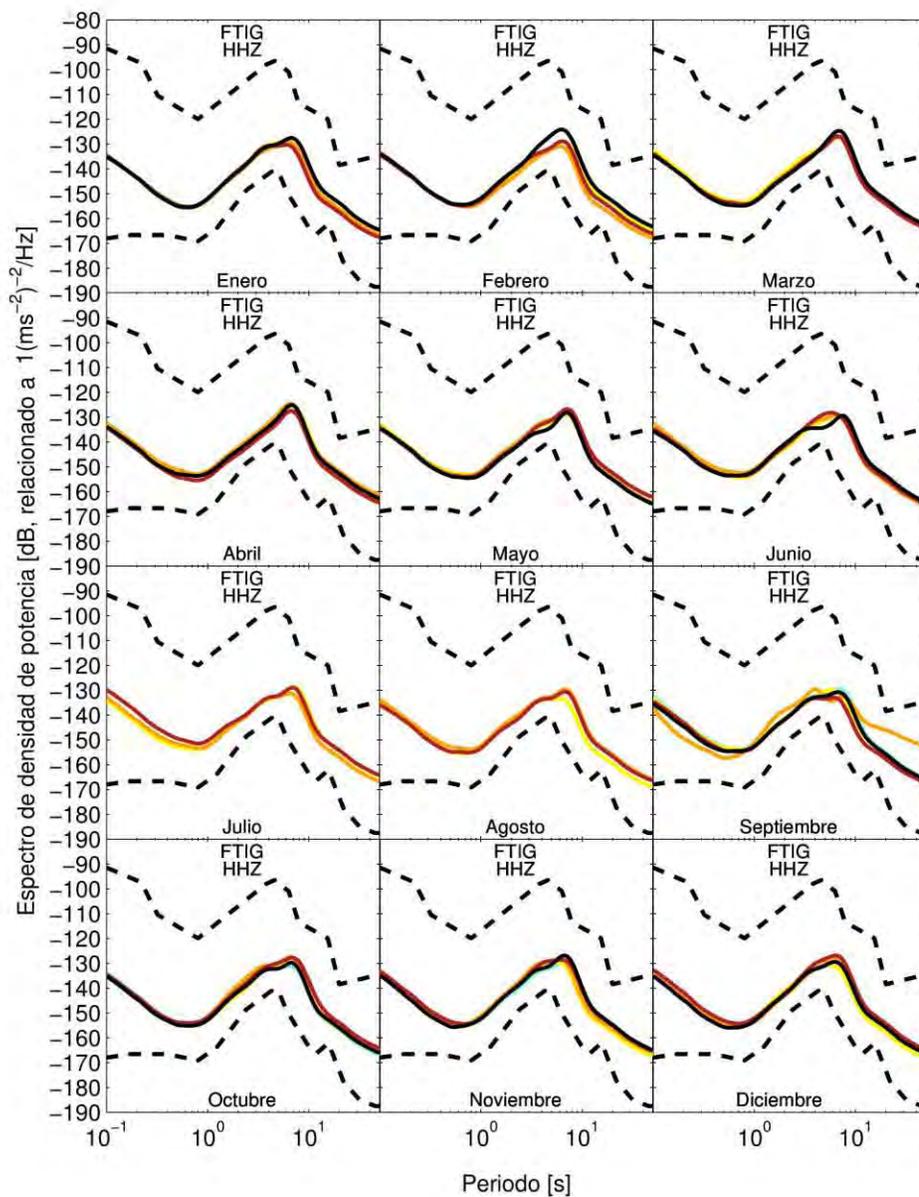


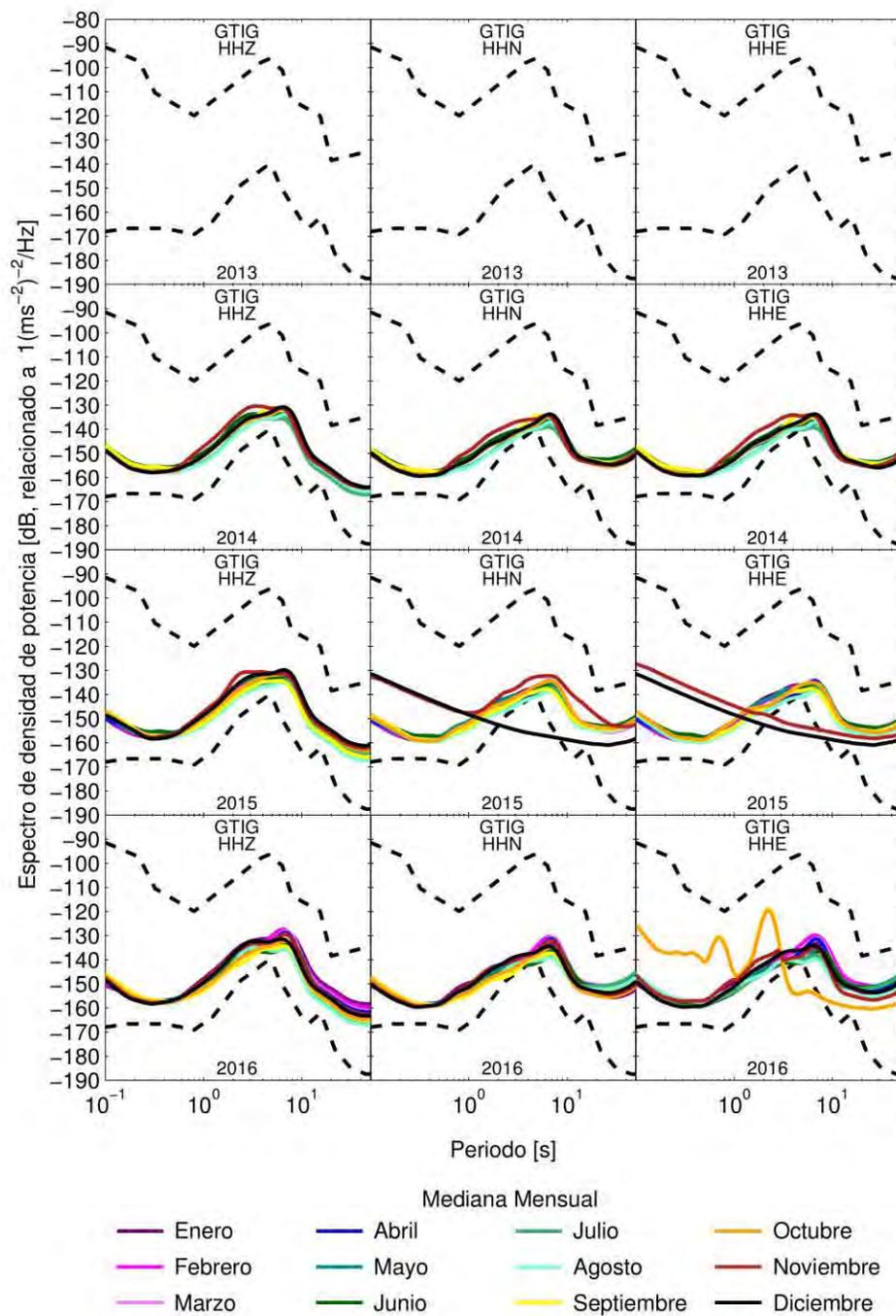


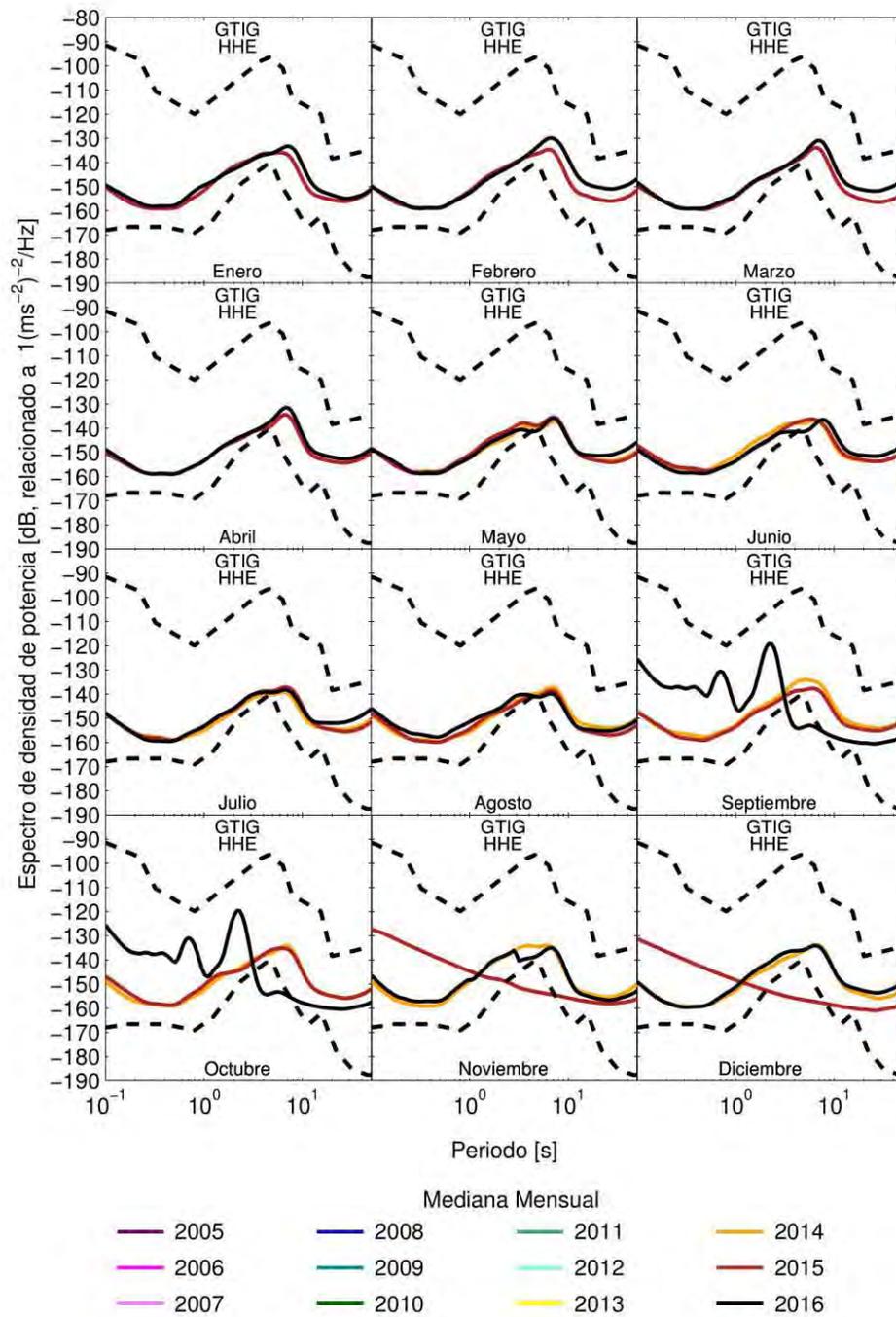


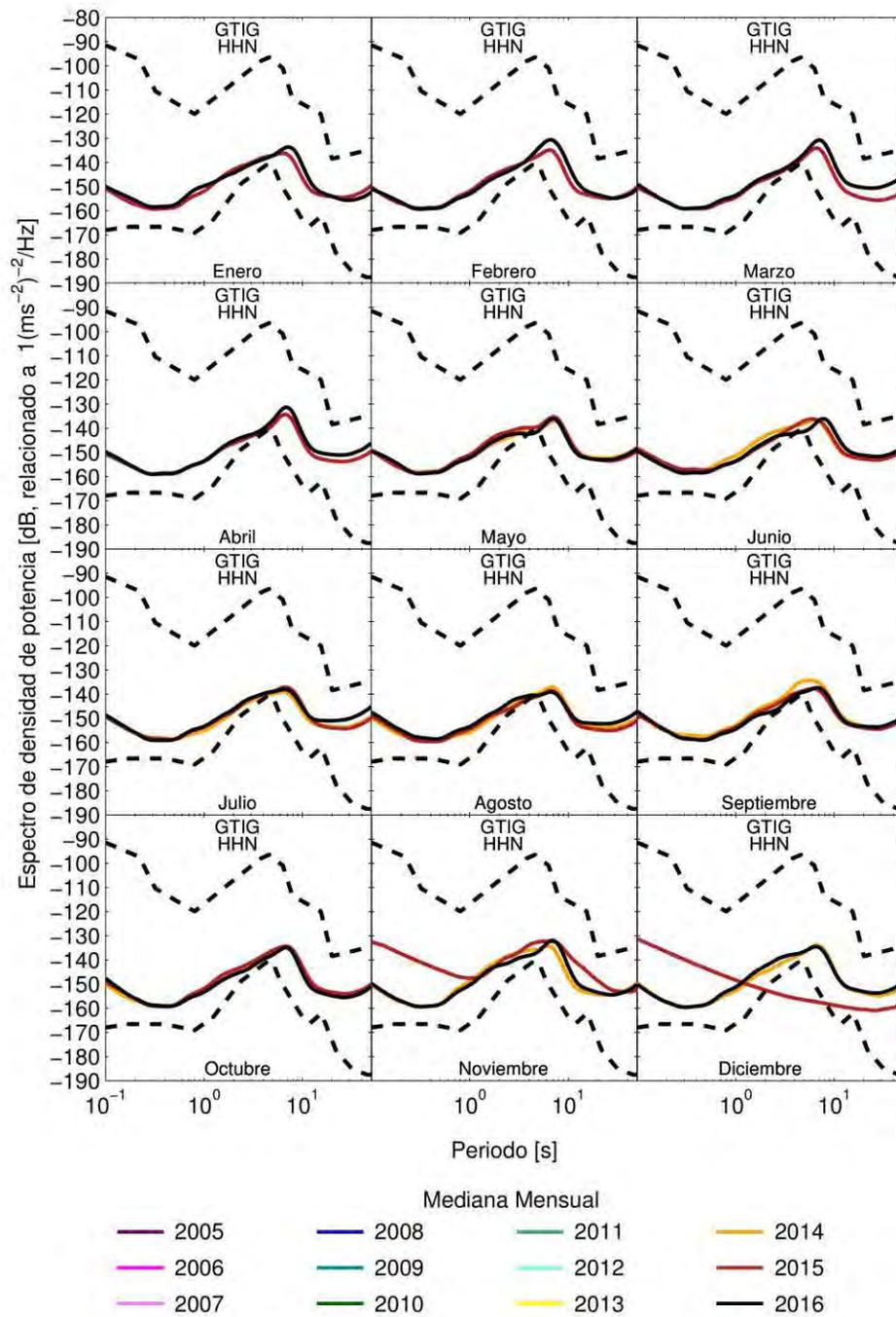


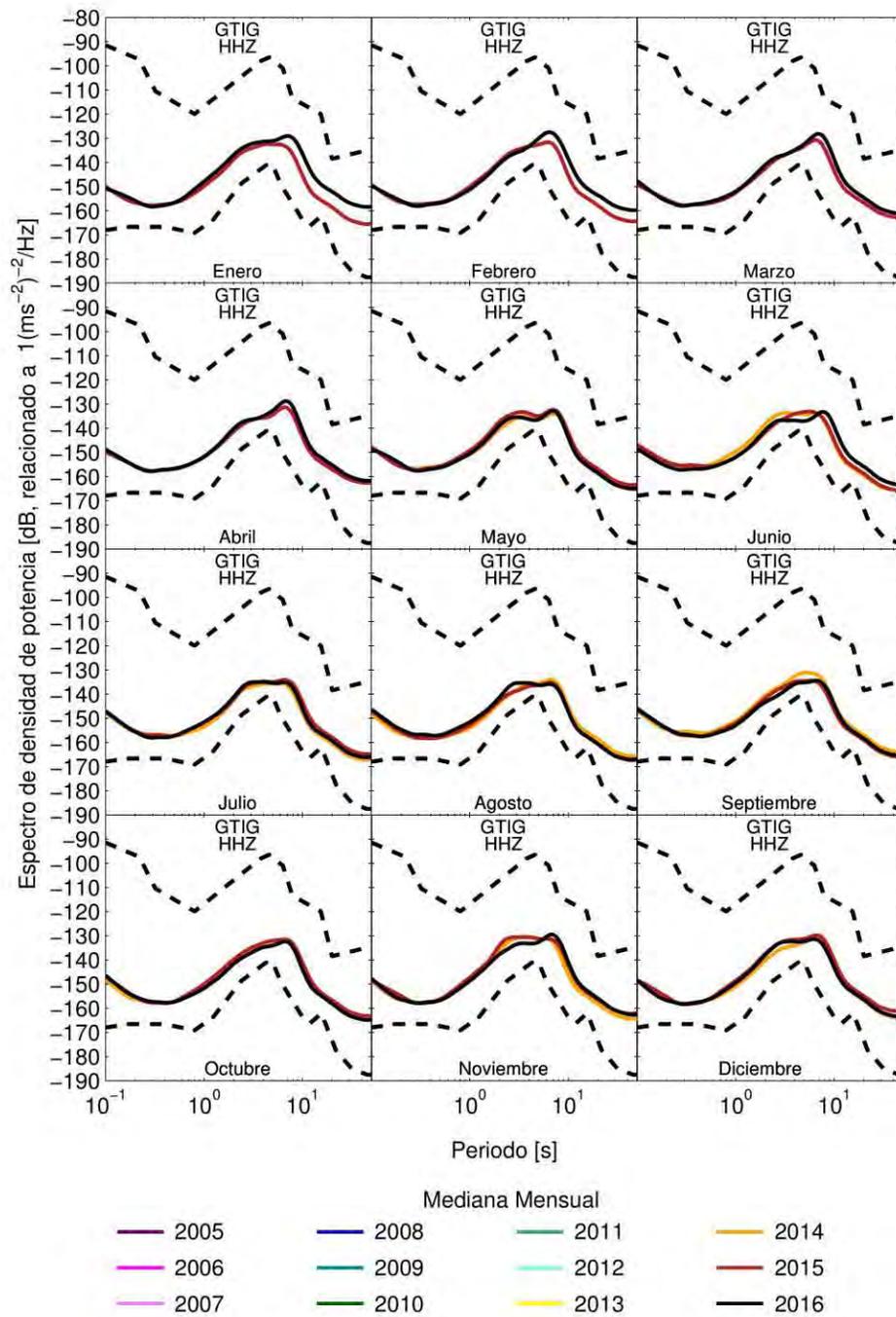


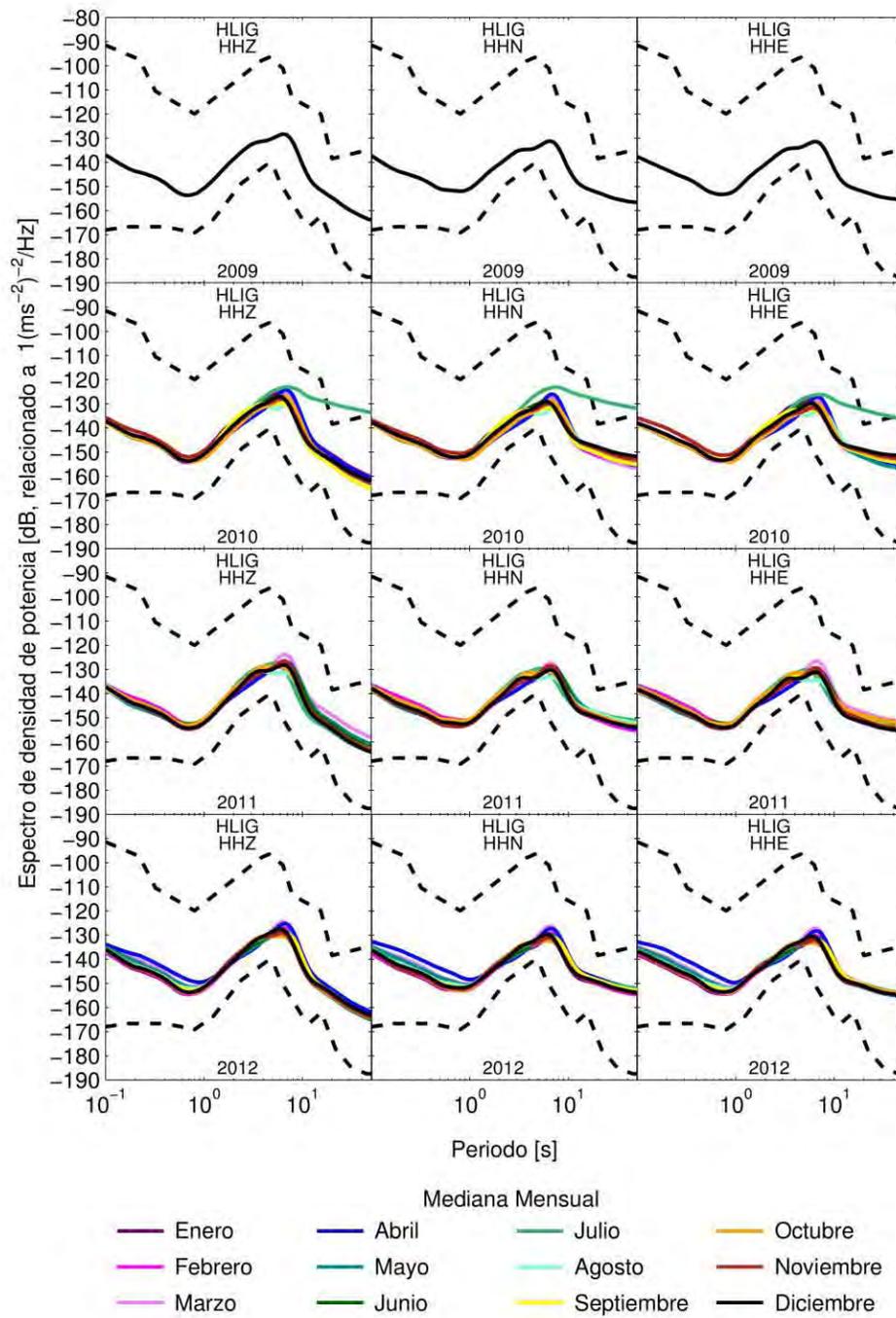


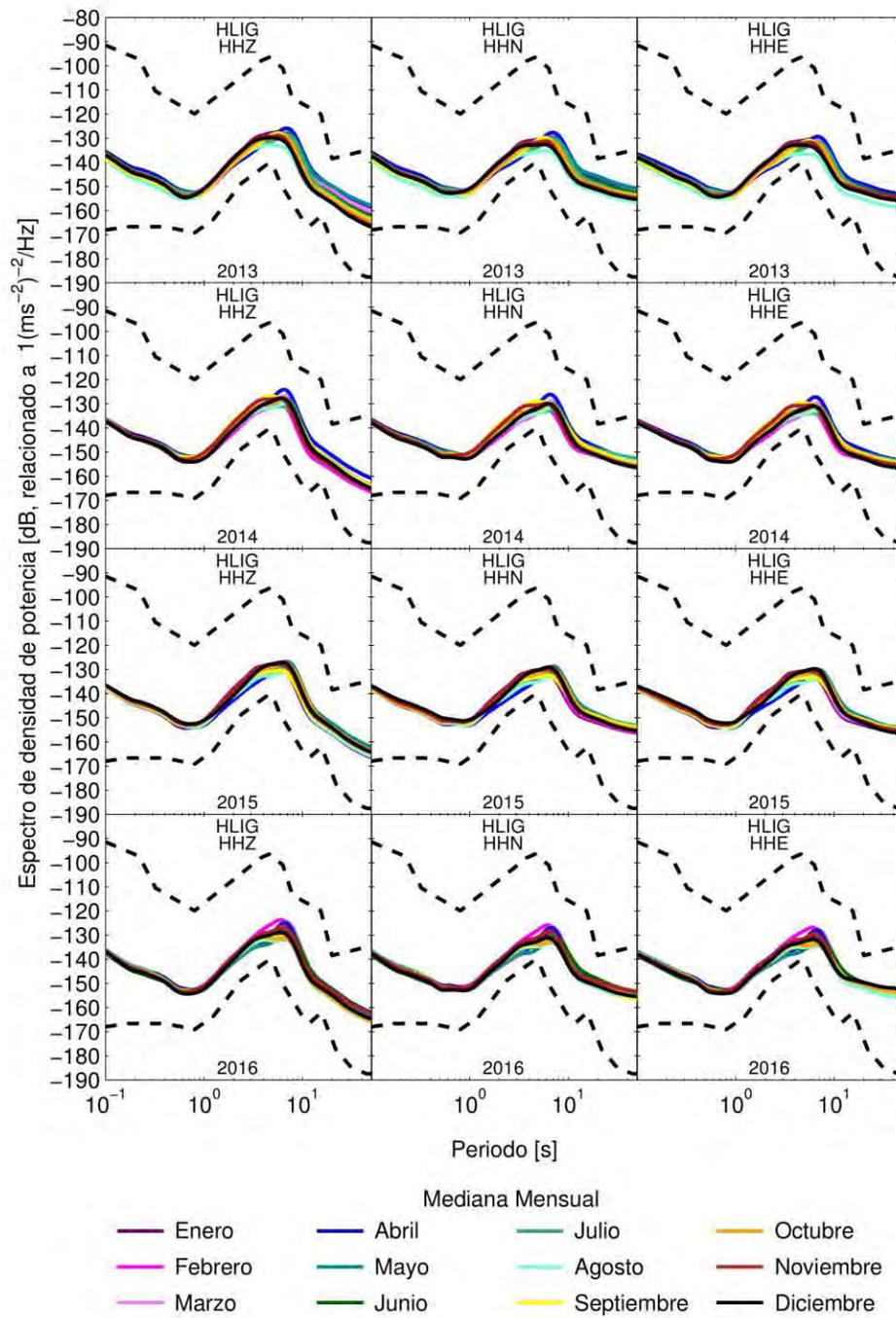


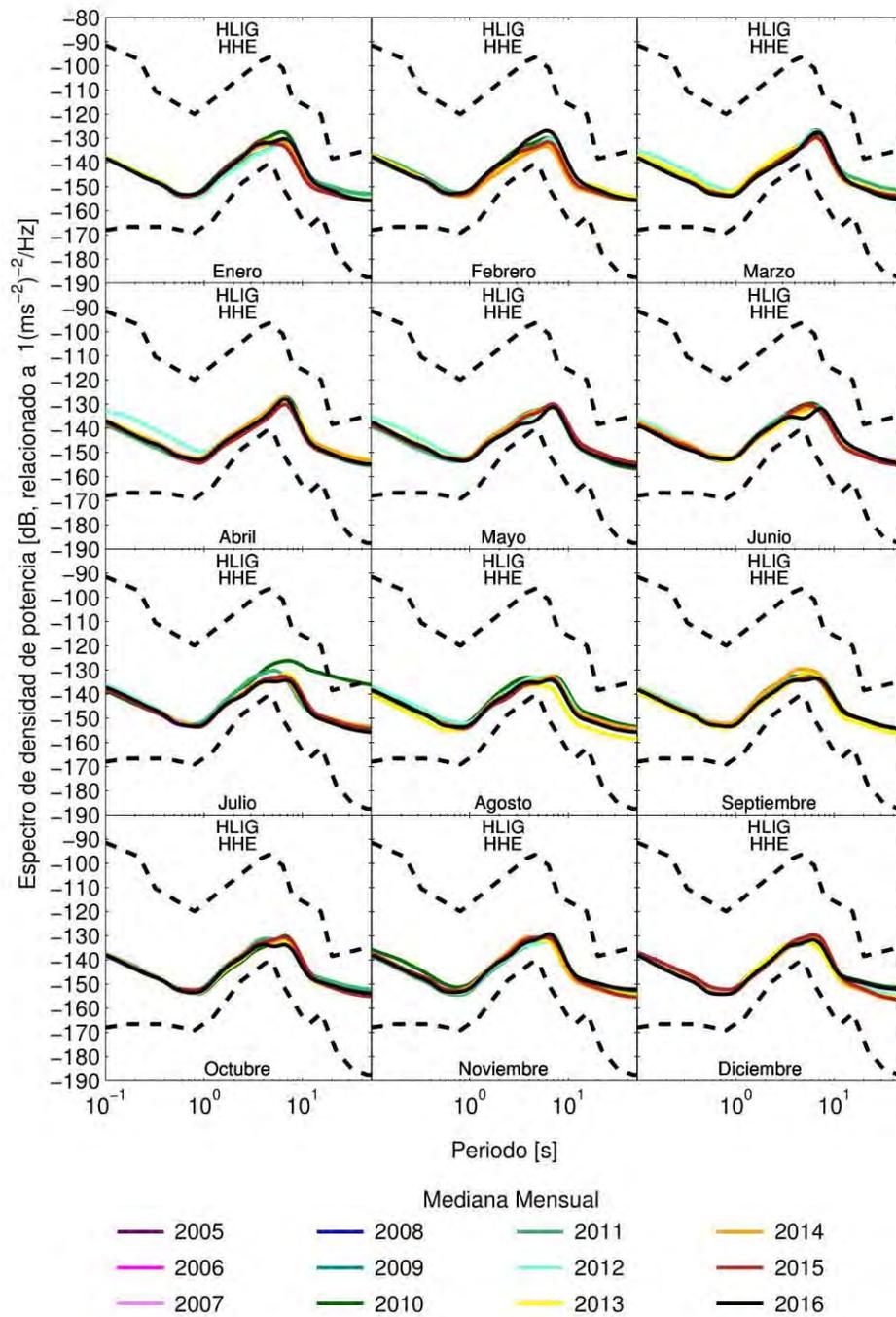


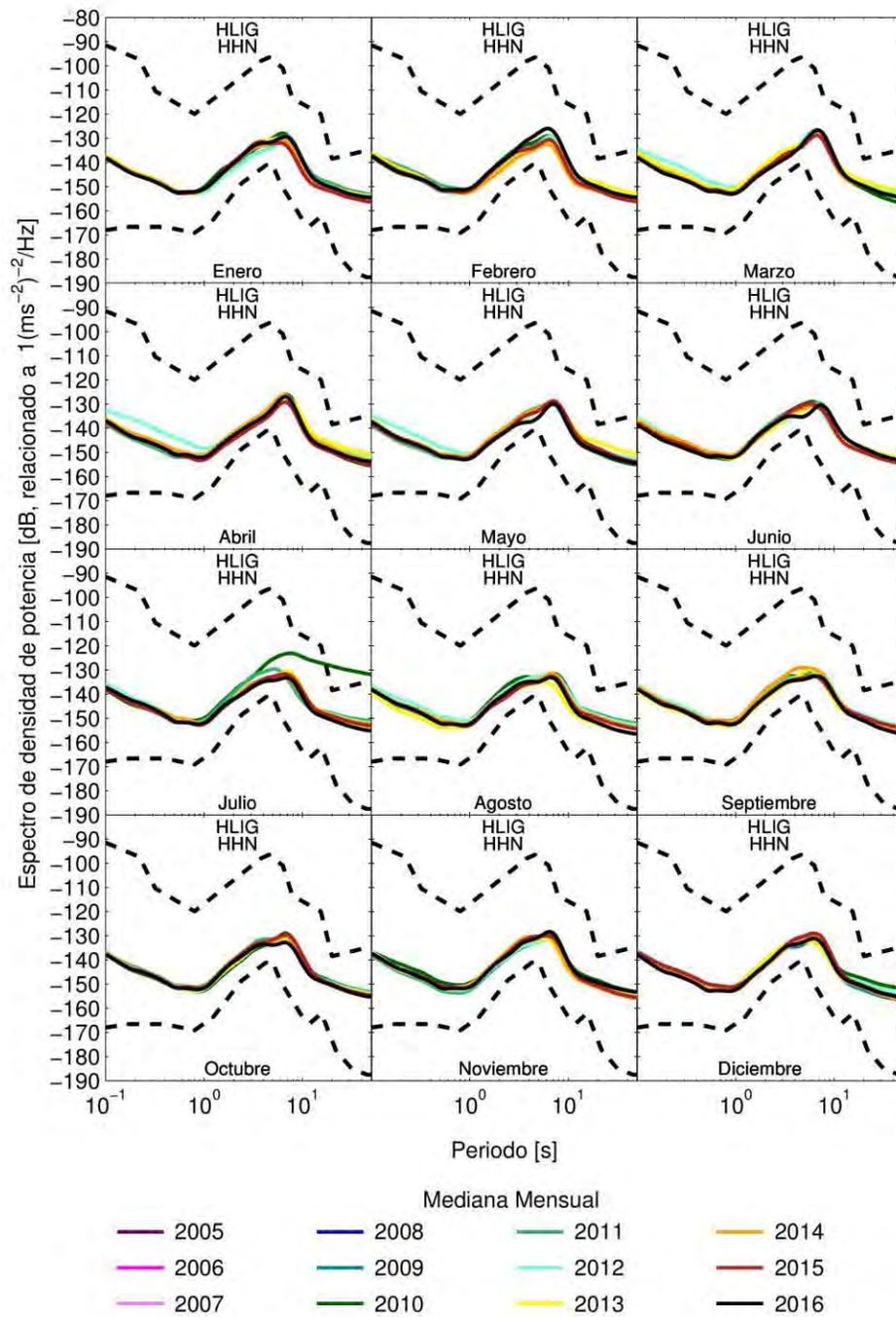


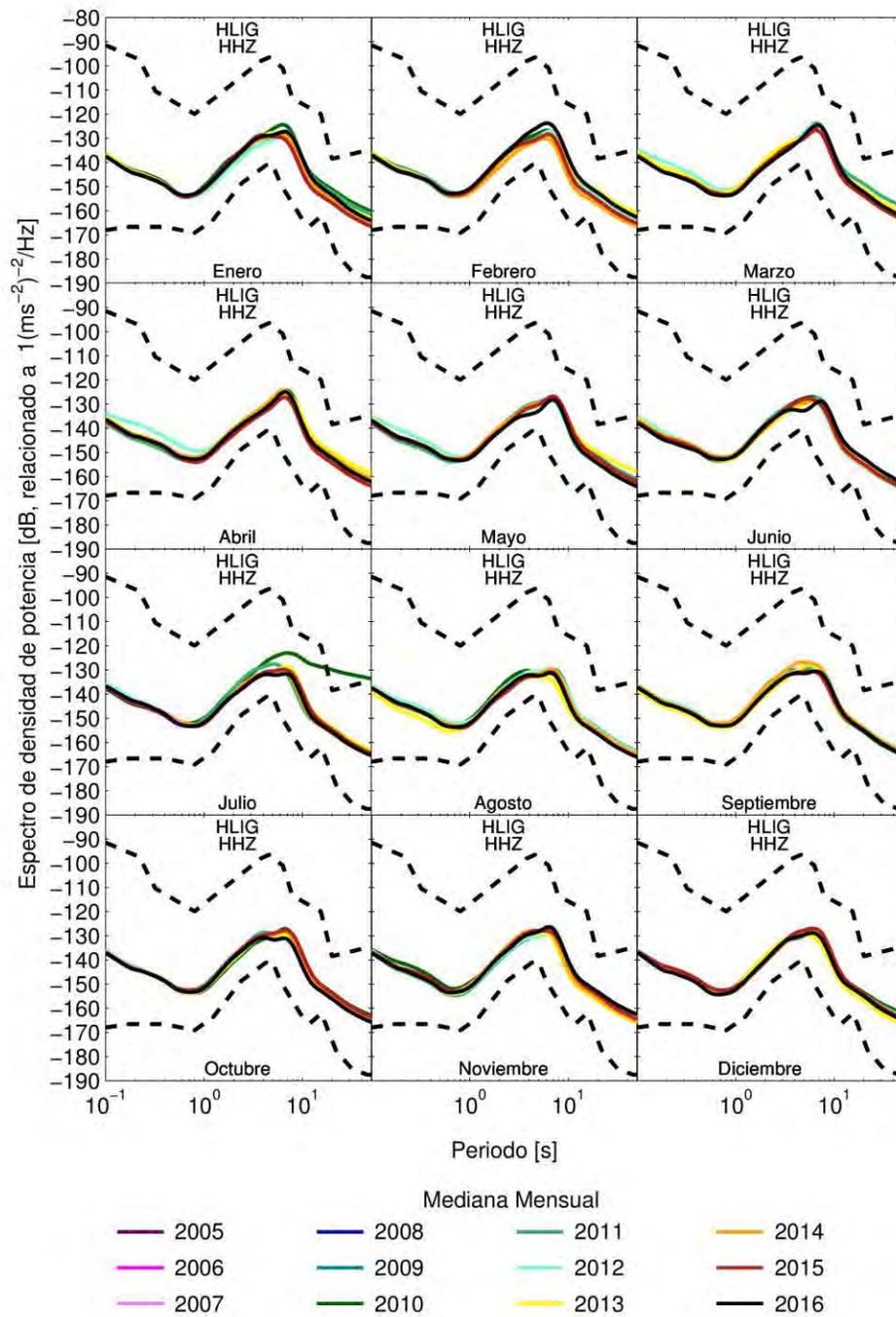


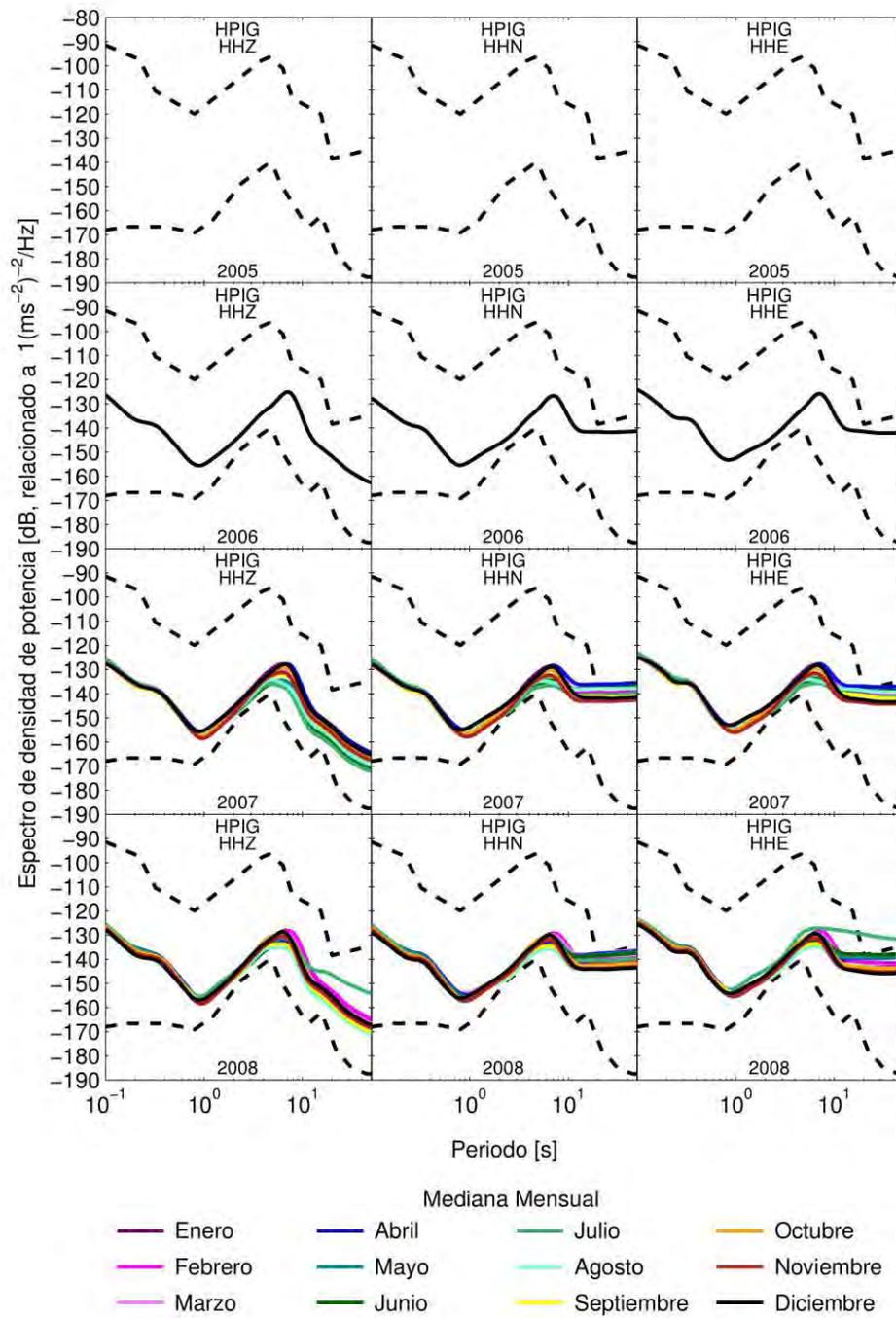


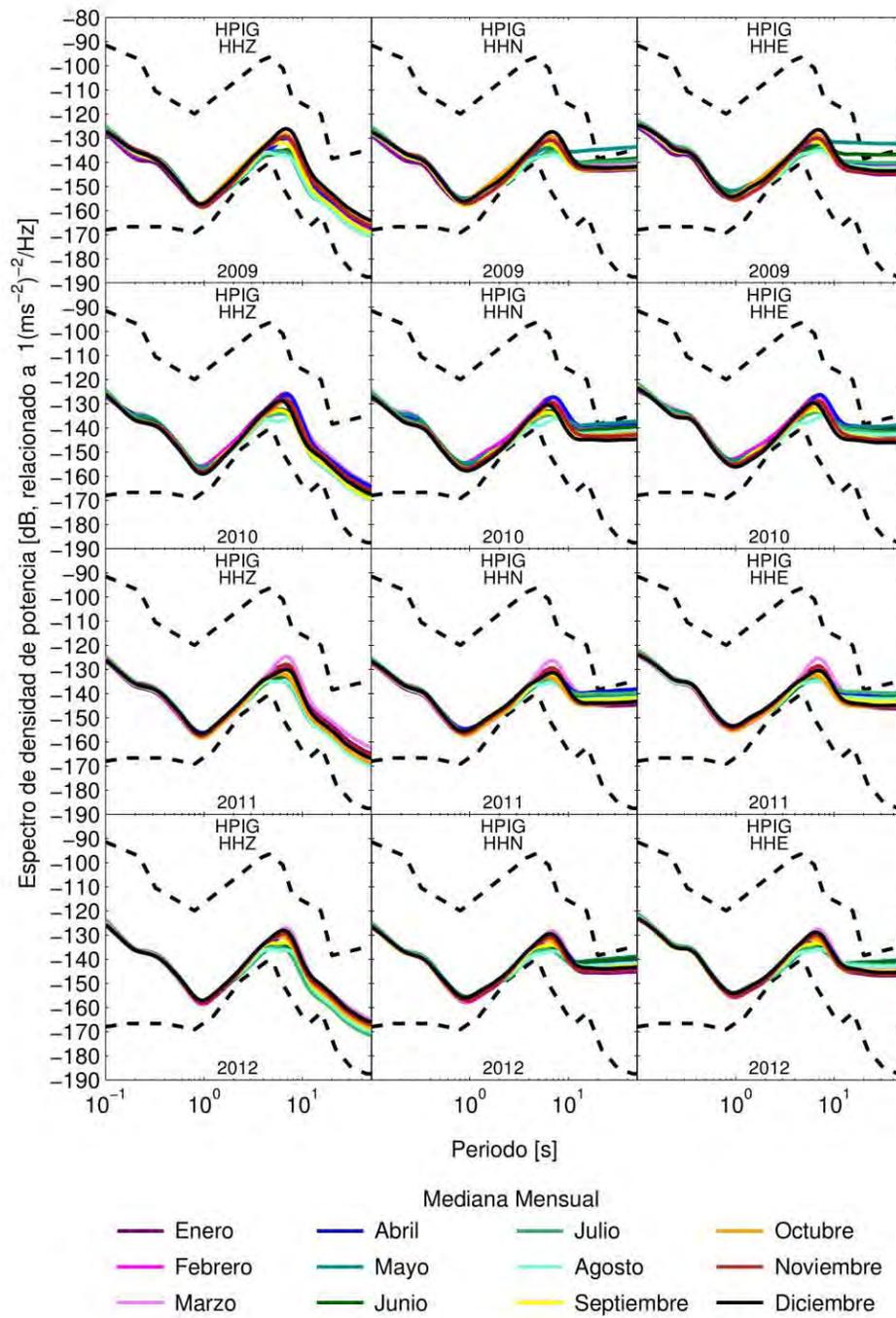


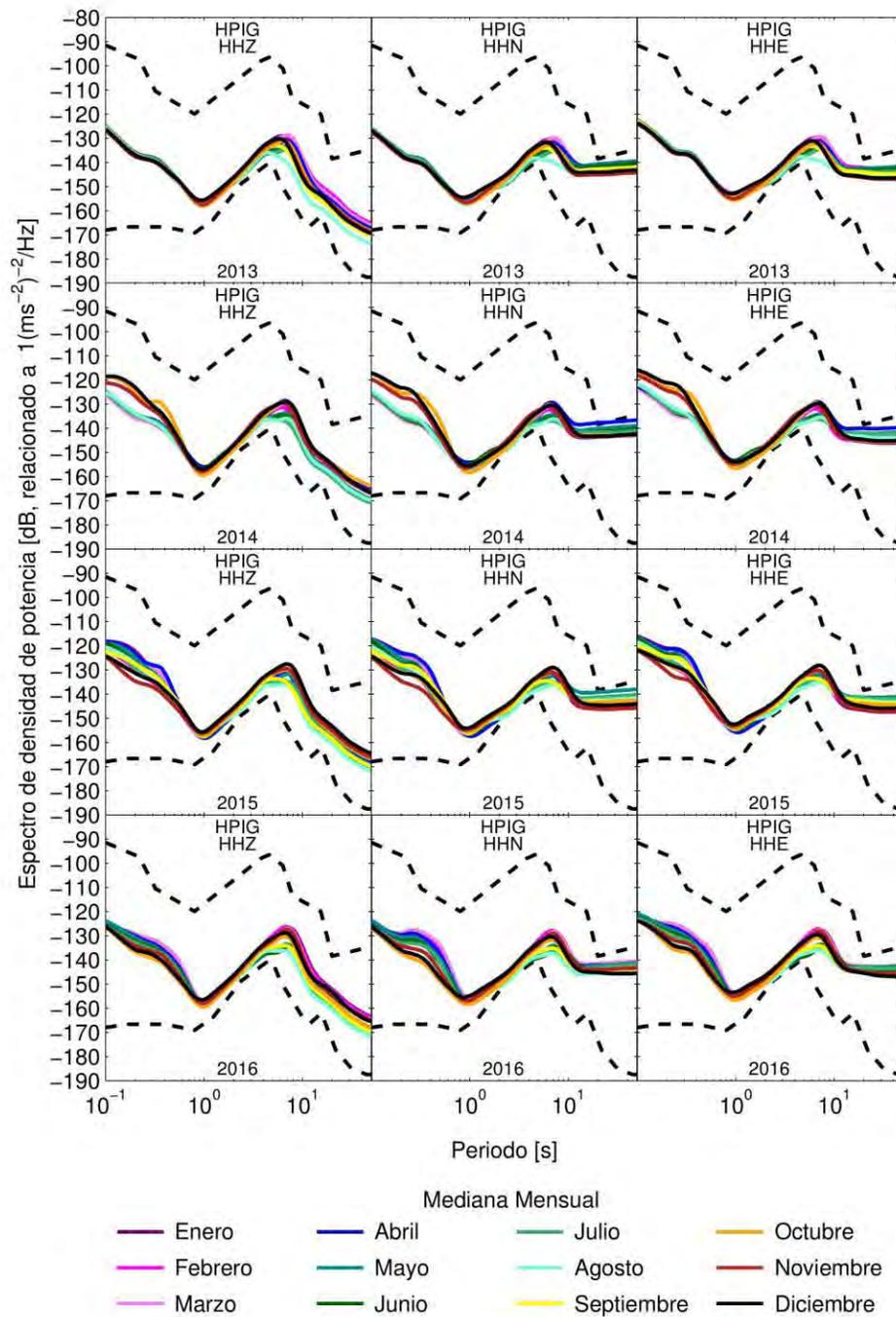


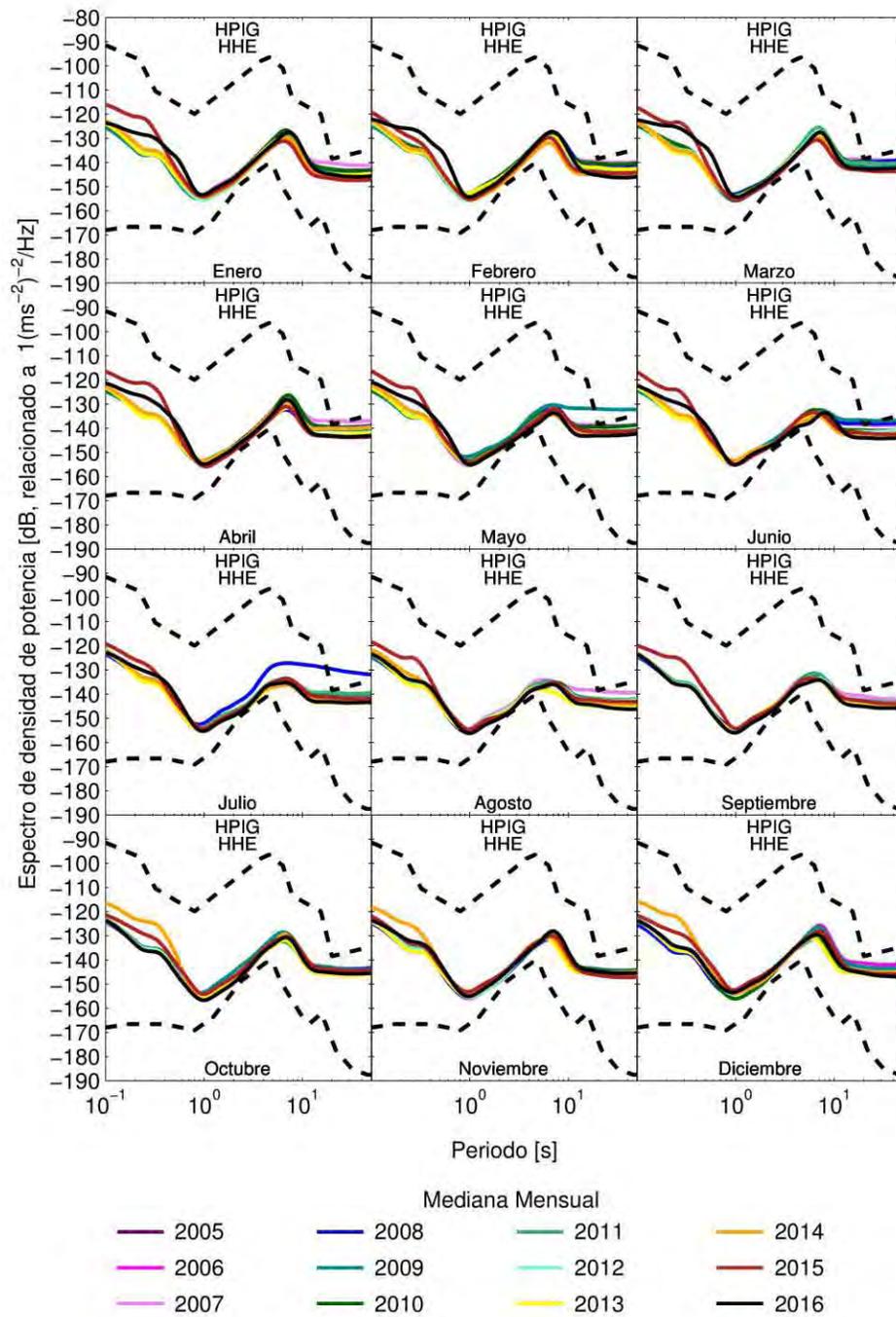


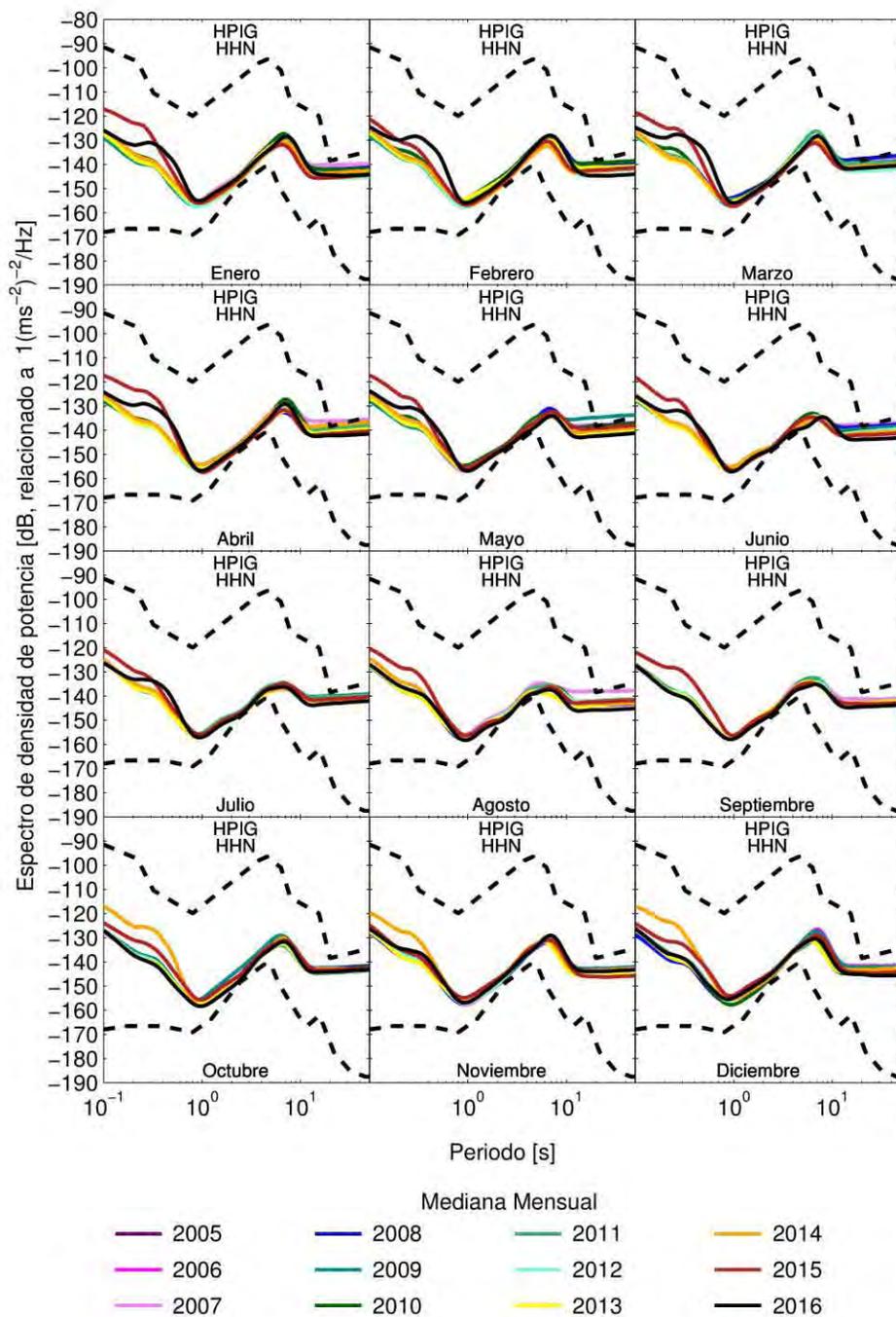


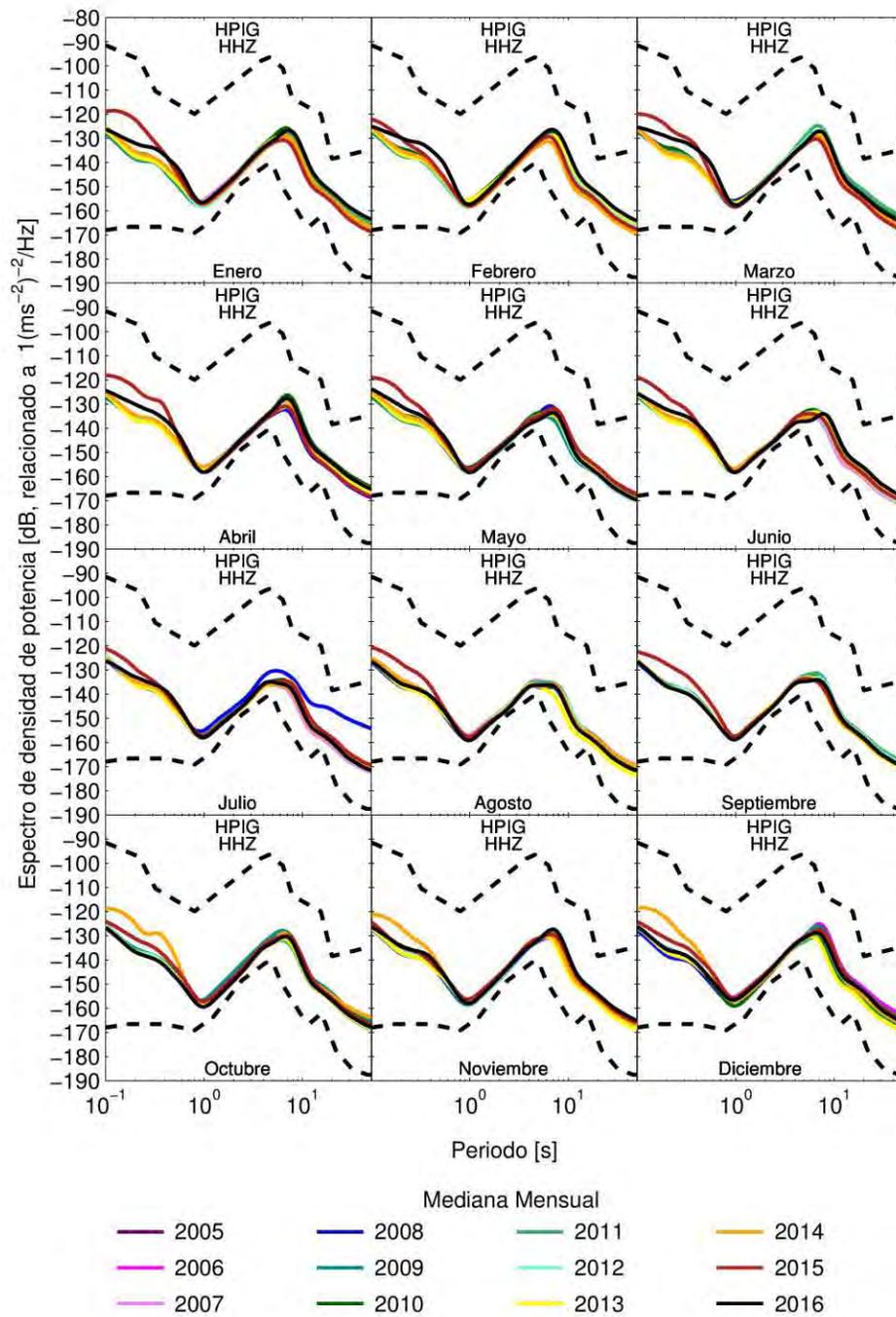


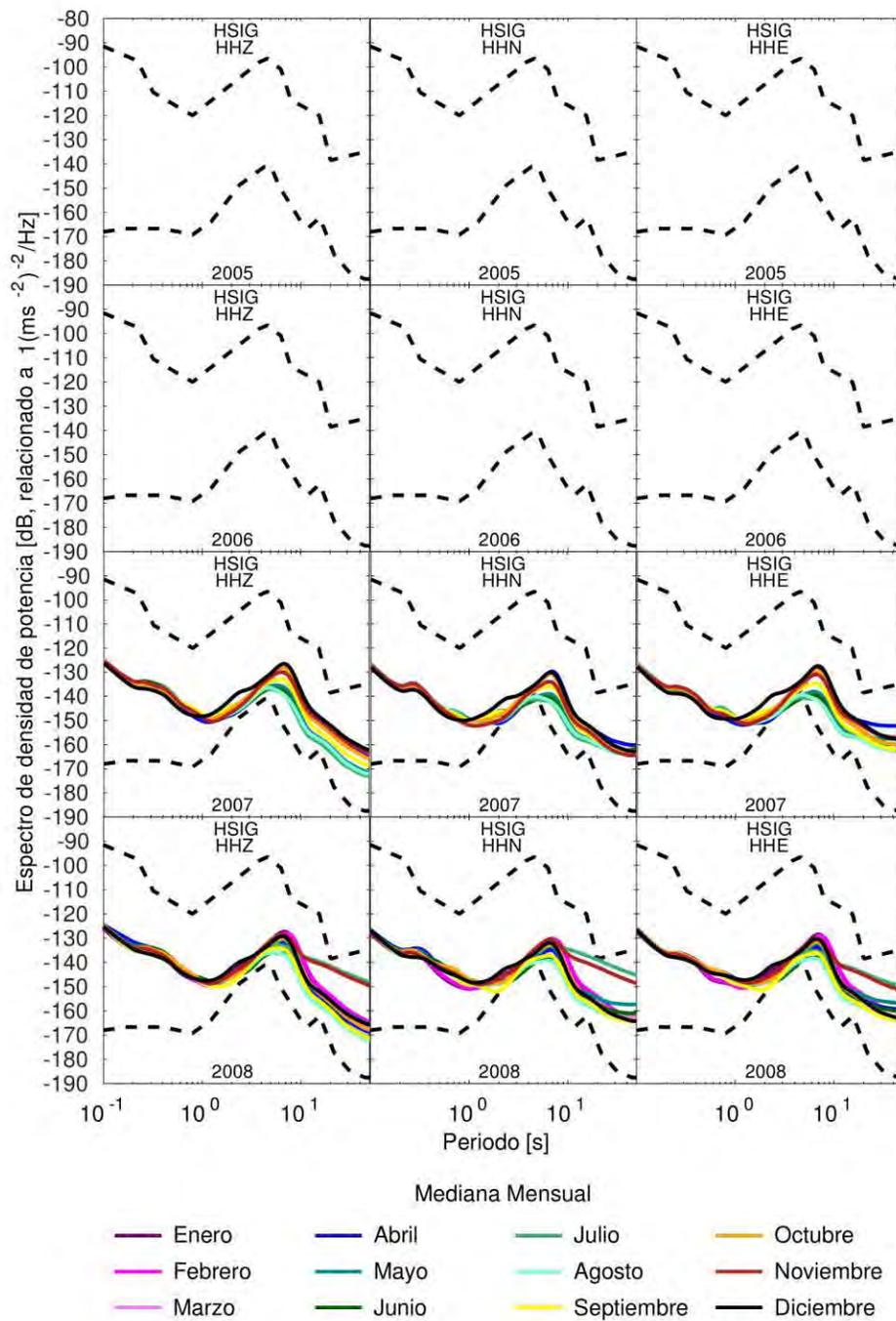


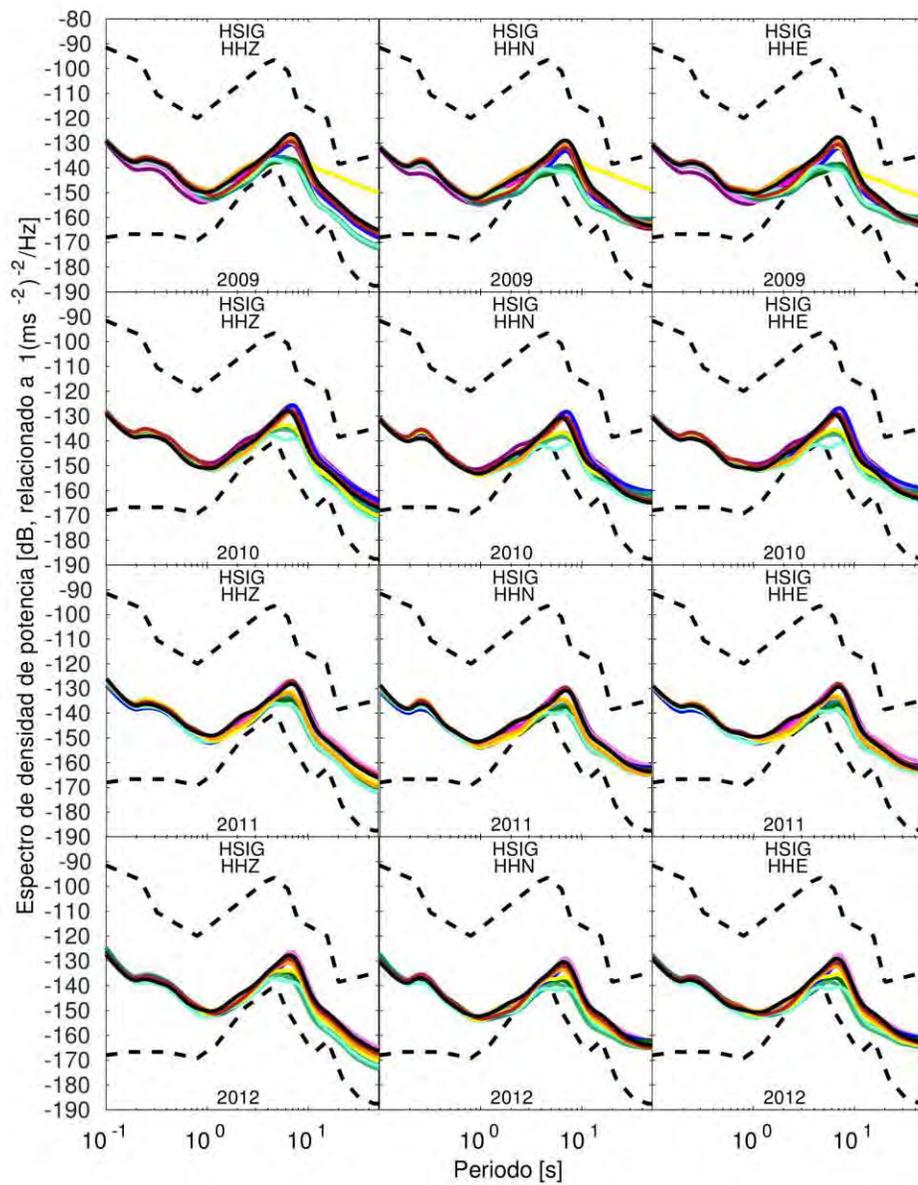


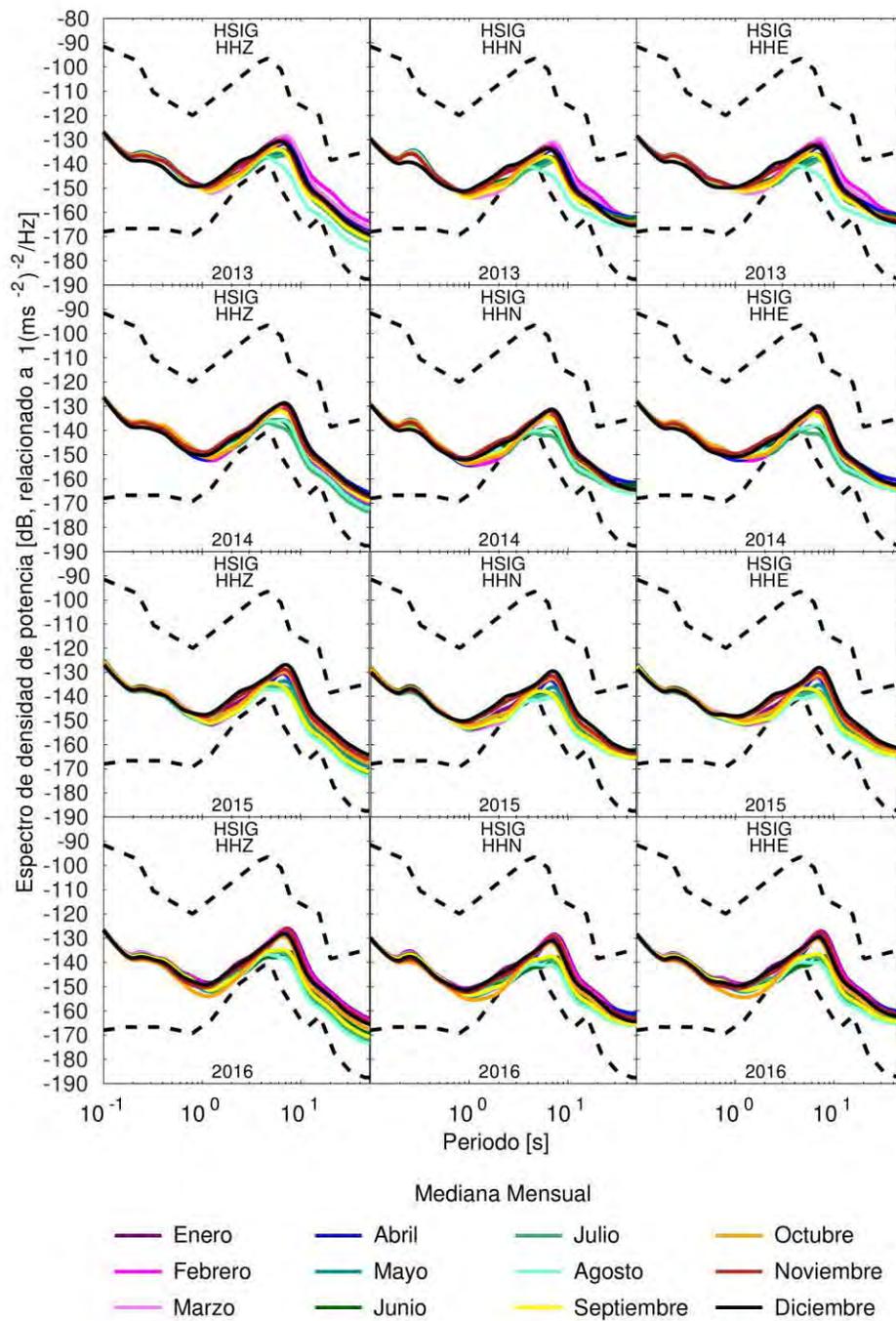


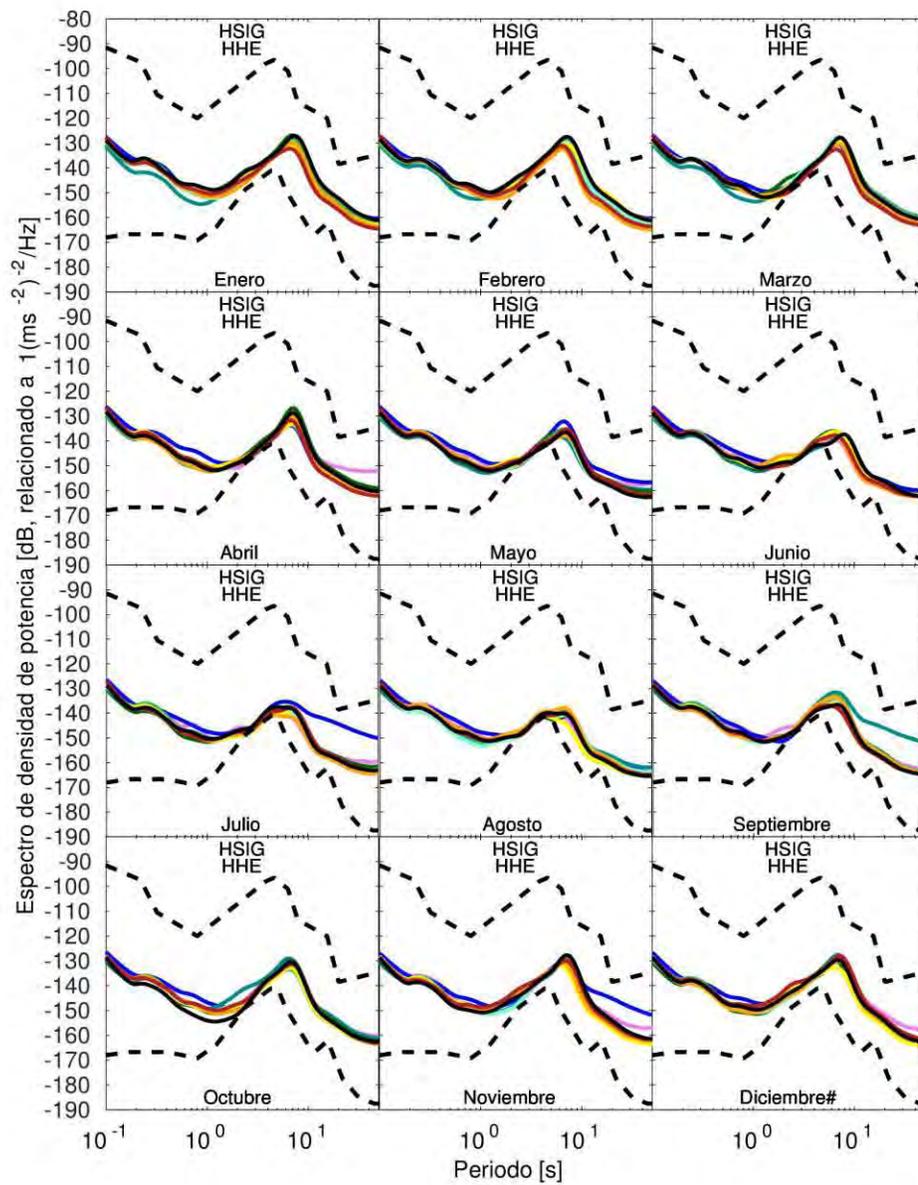


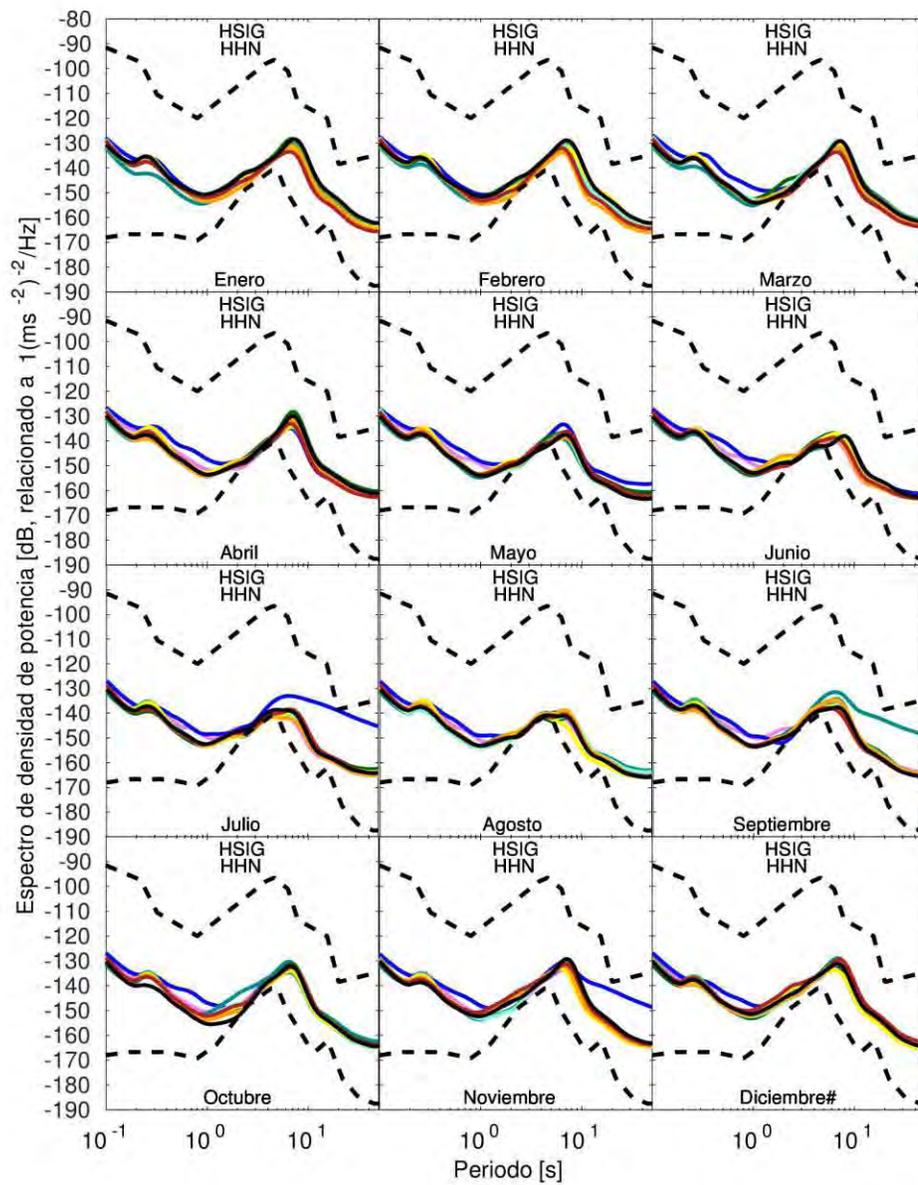






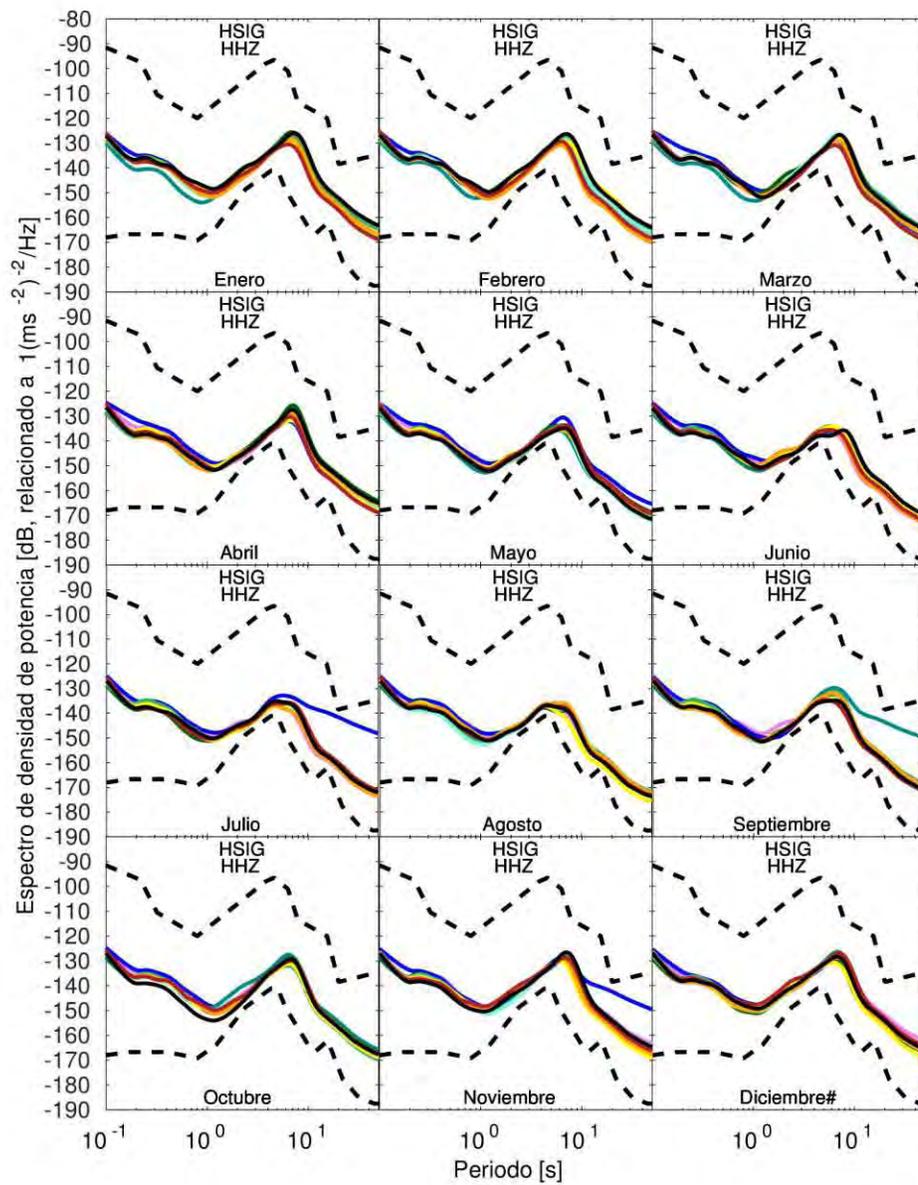






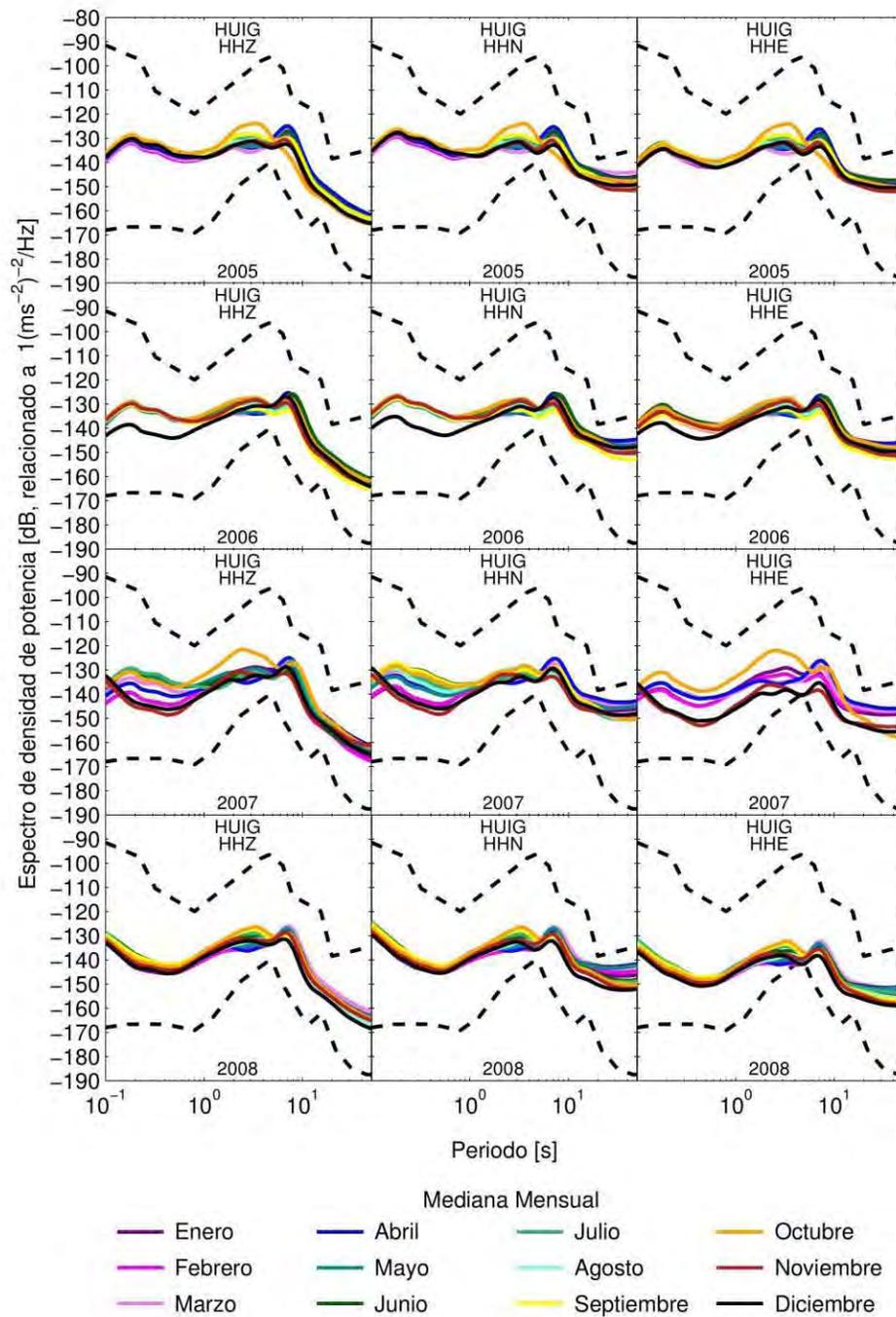
Mediana Mensual

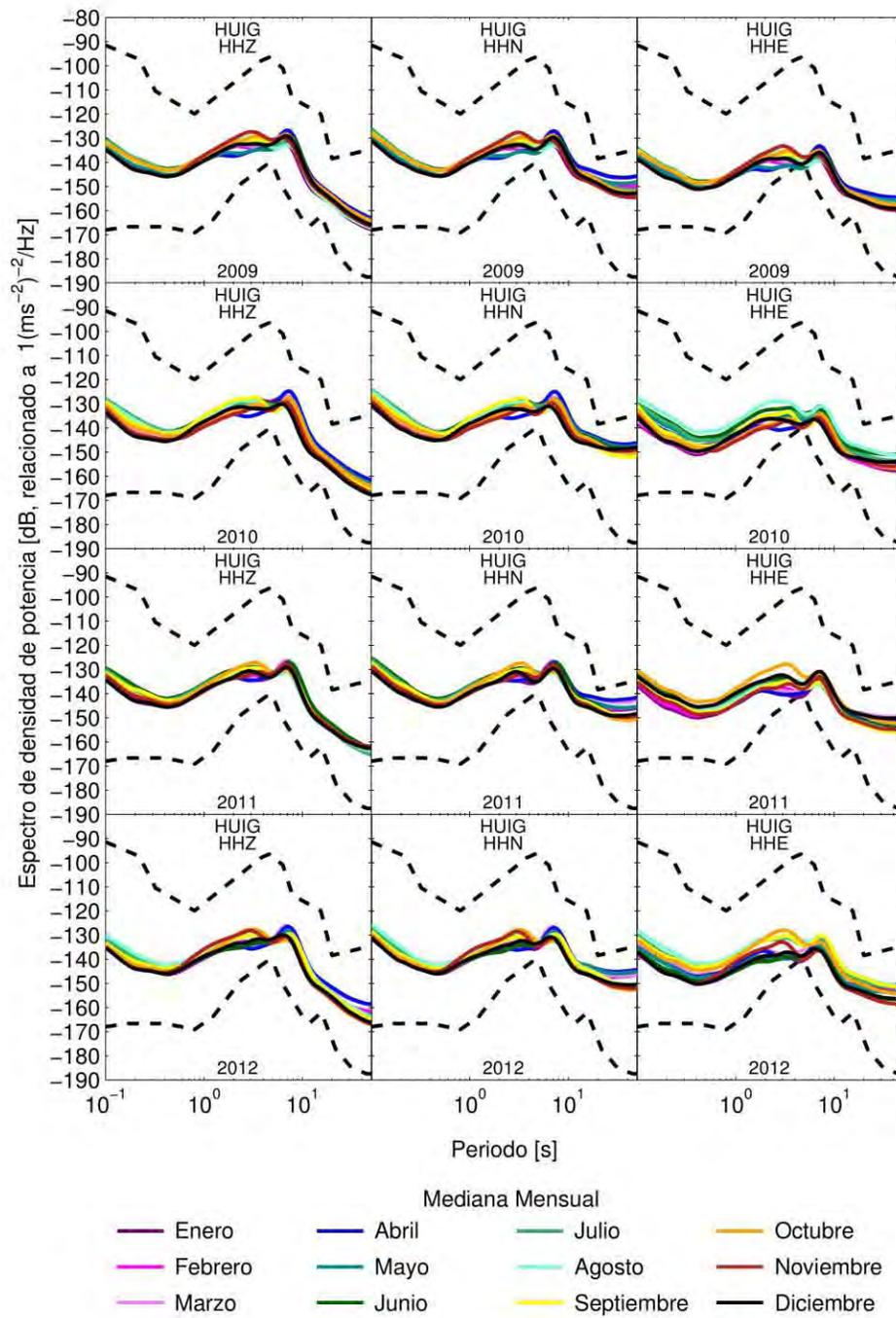


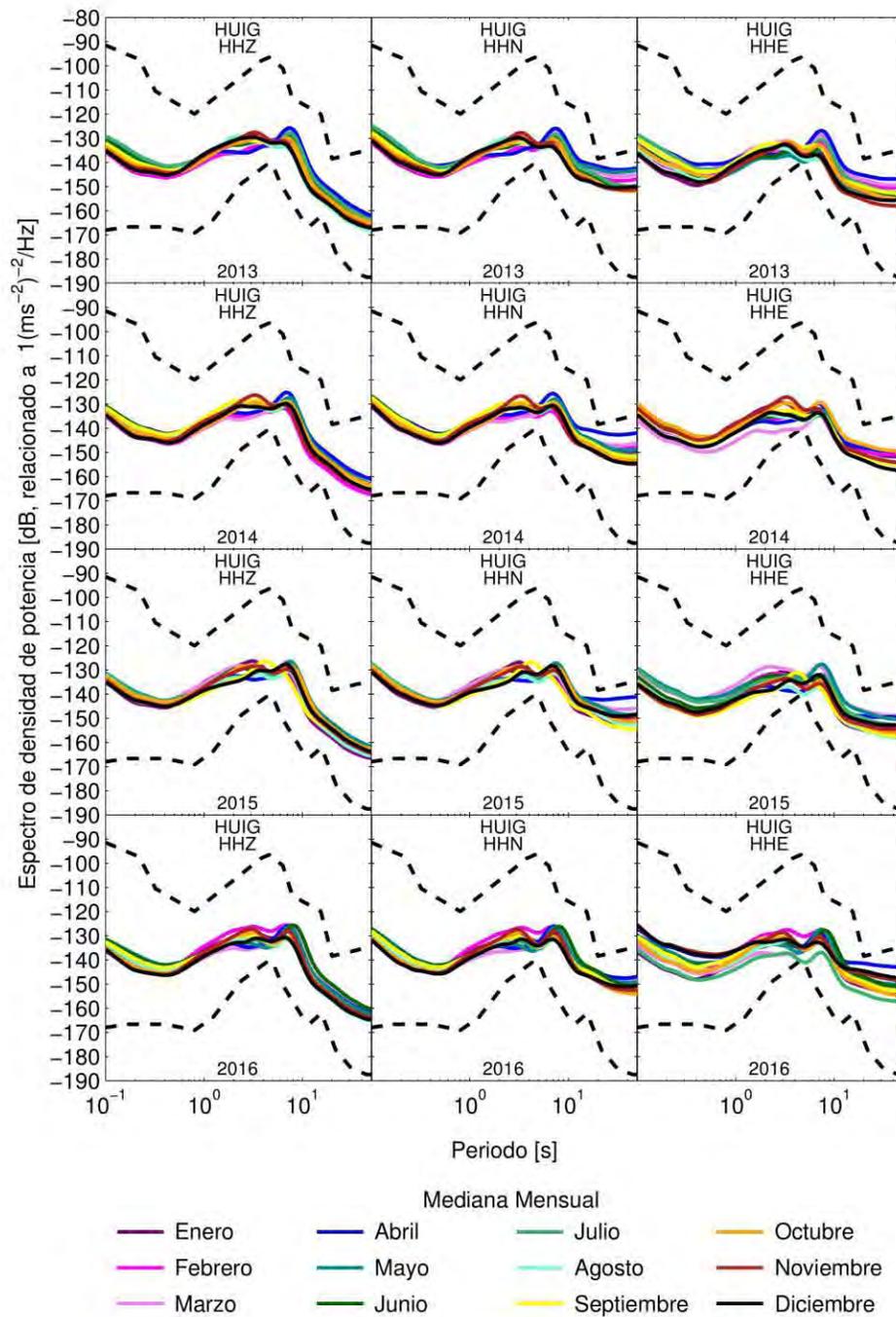


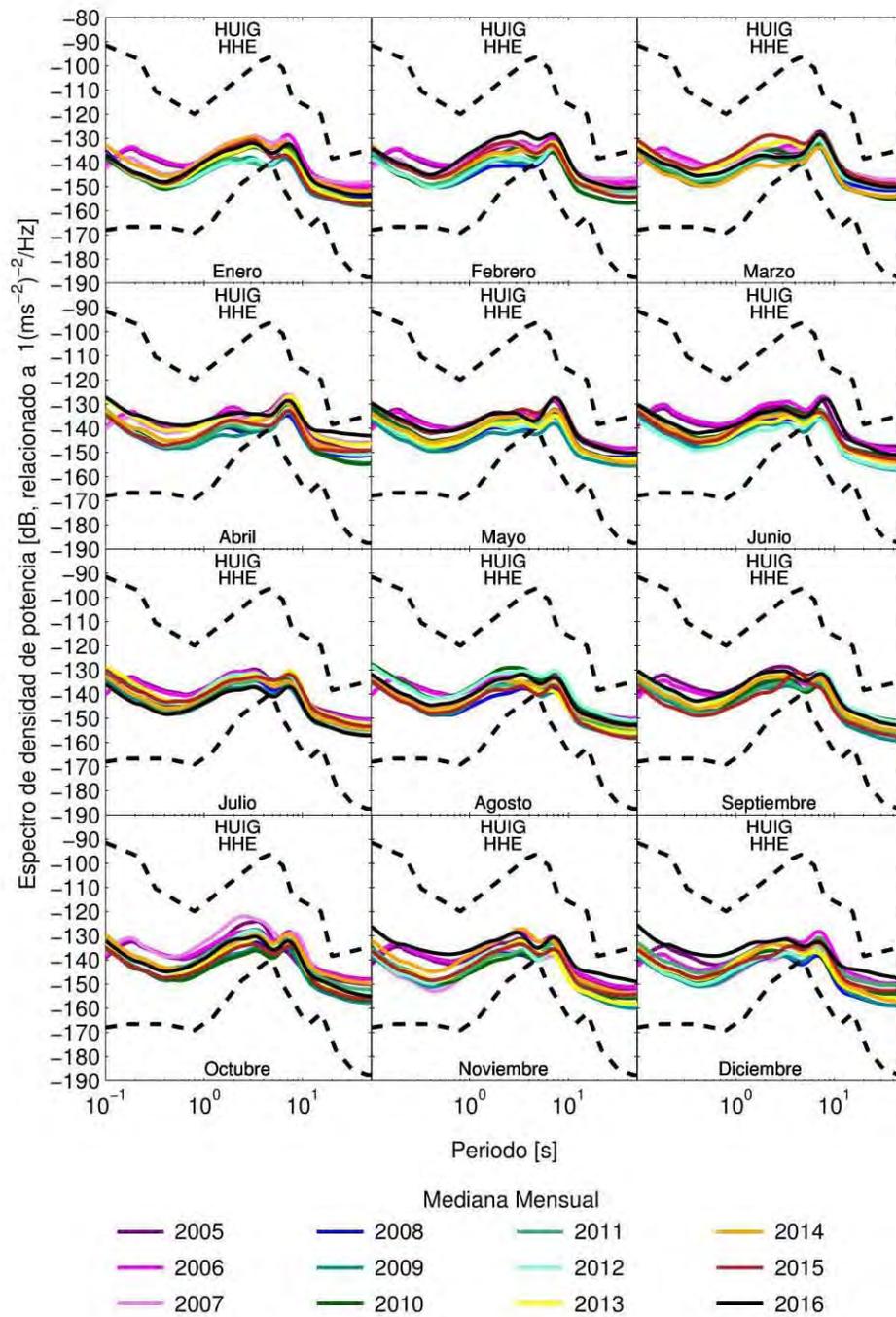
Mediana Mensual

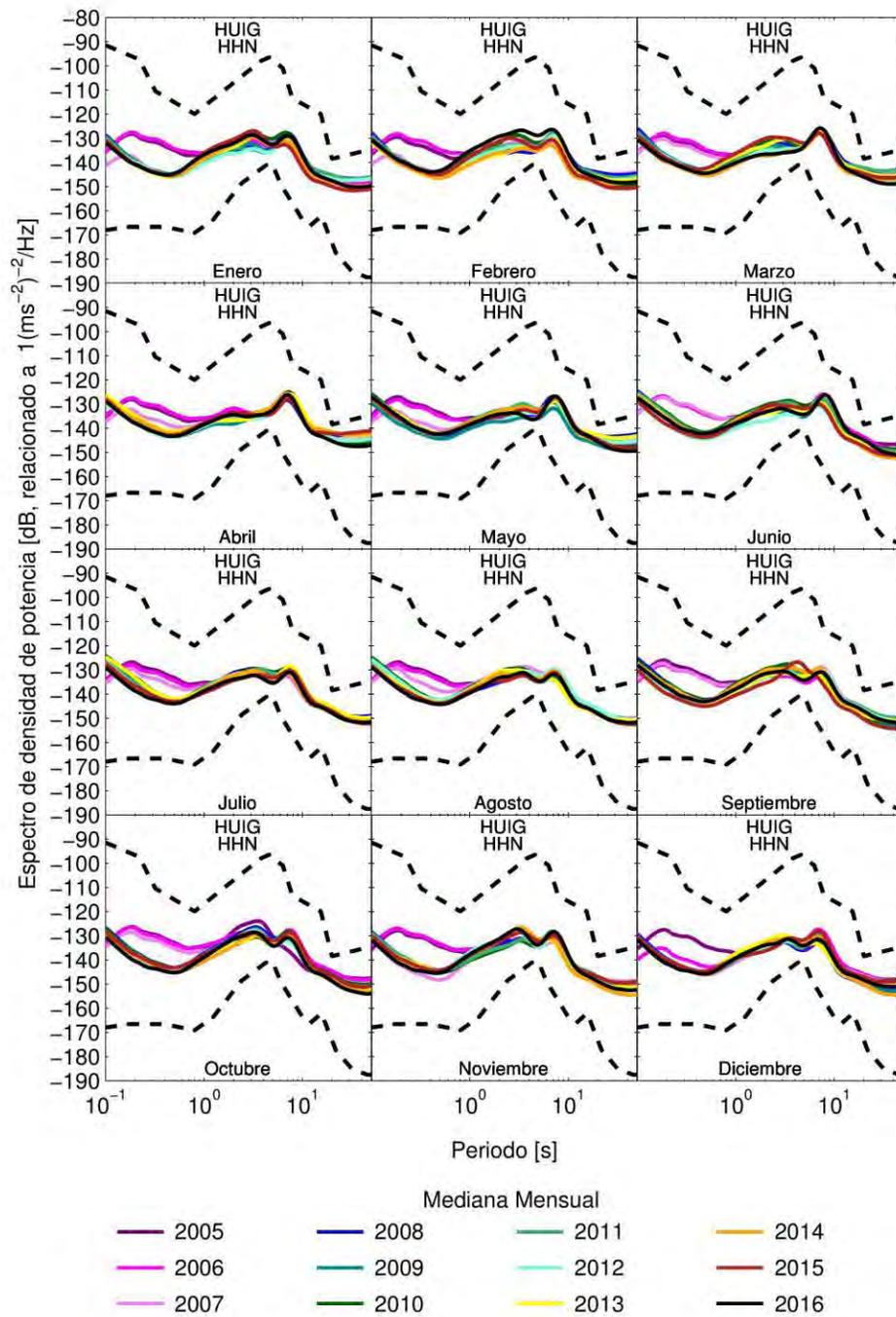


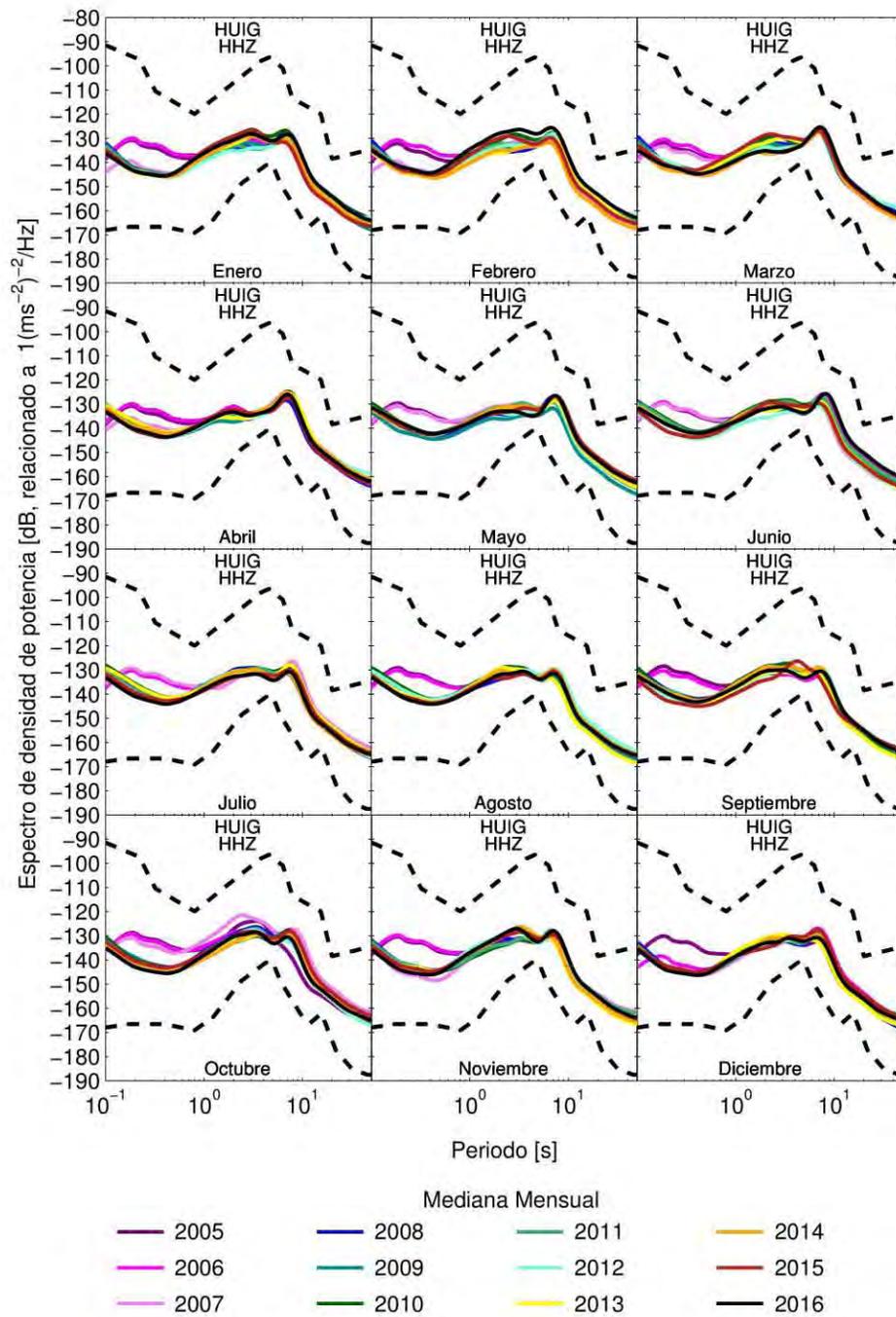


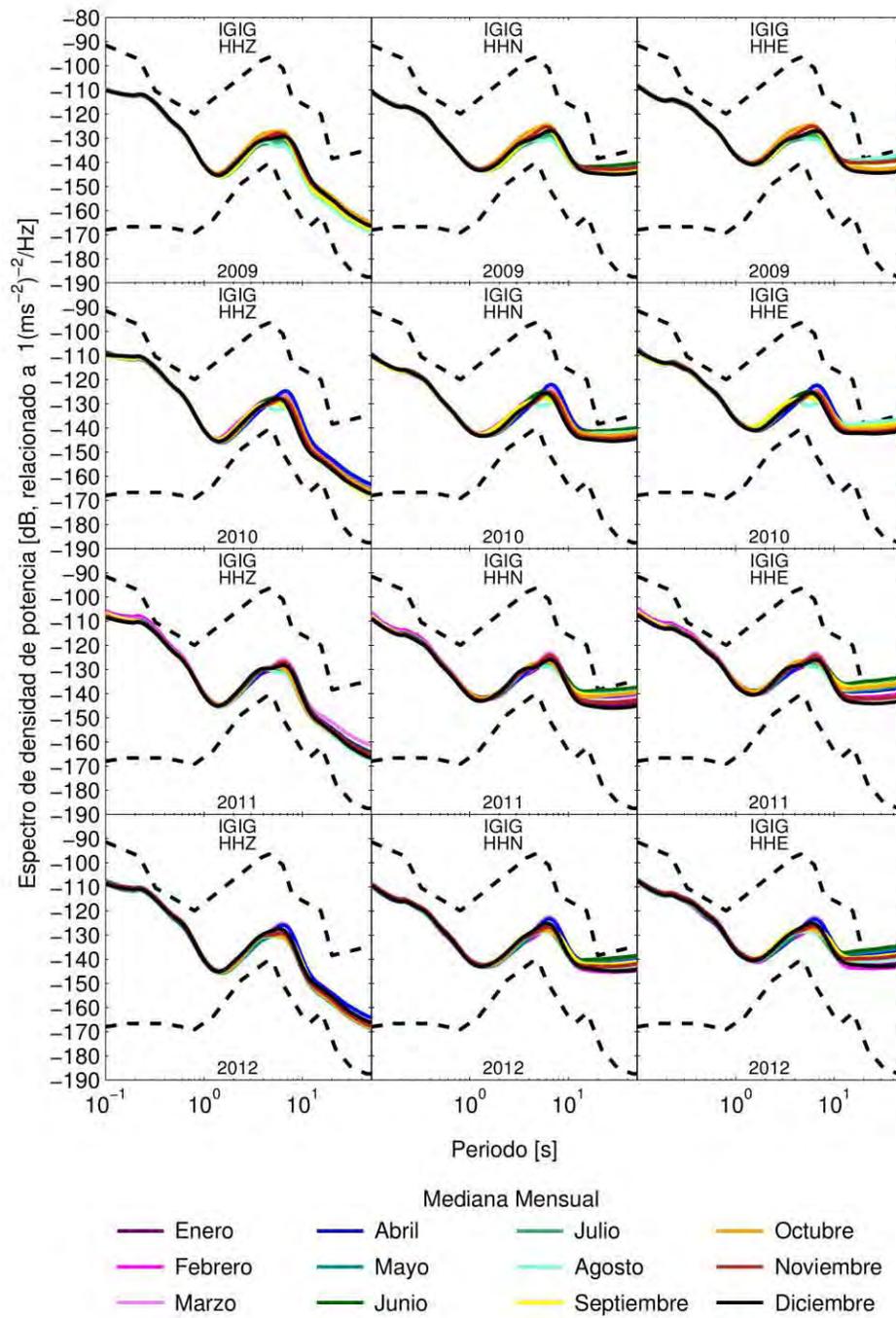


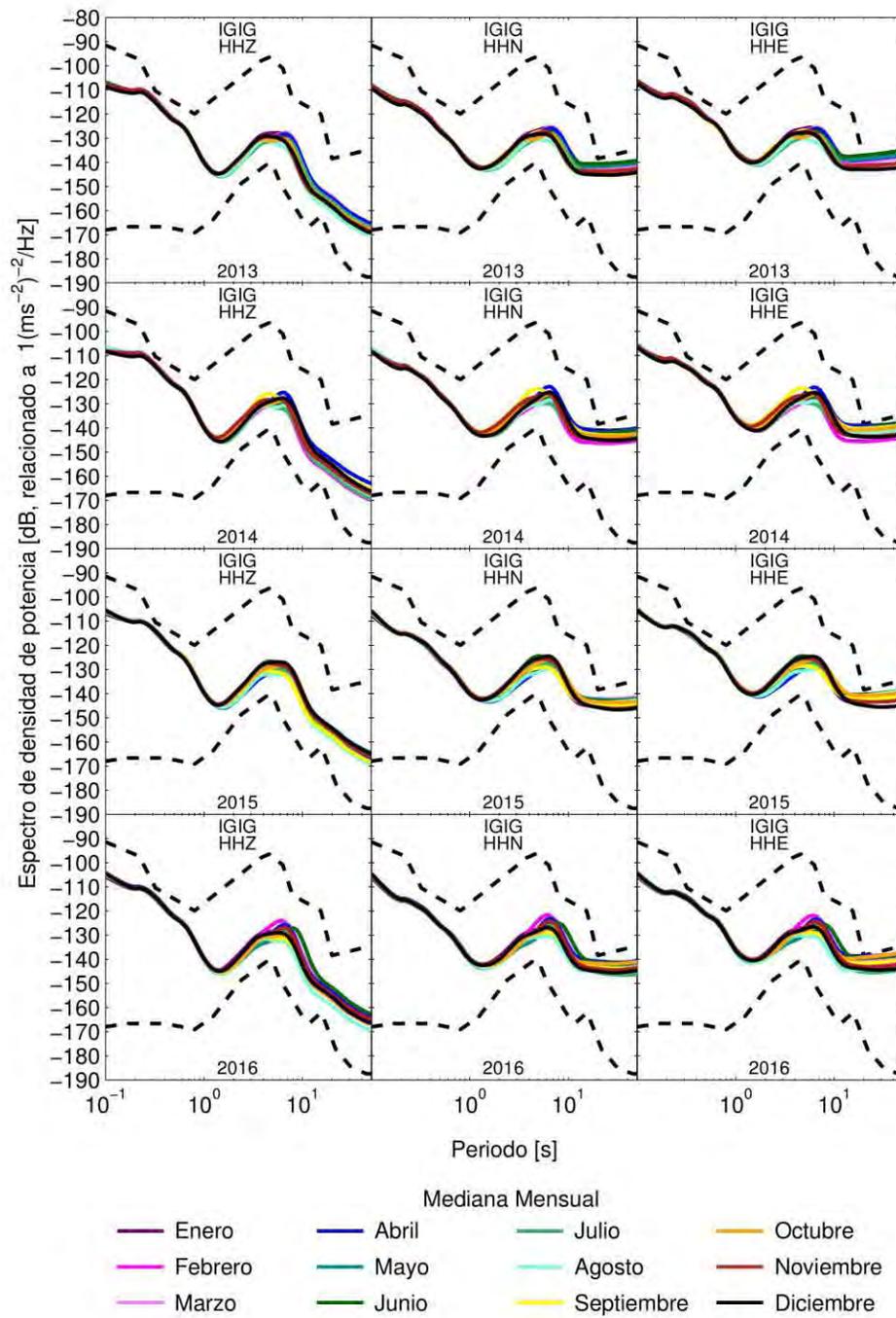


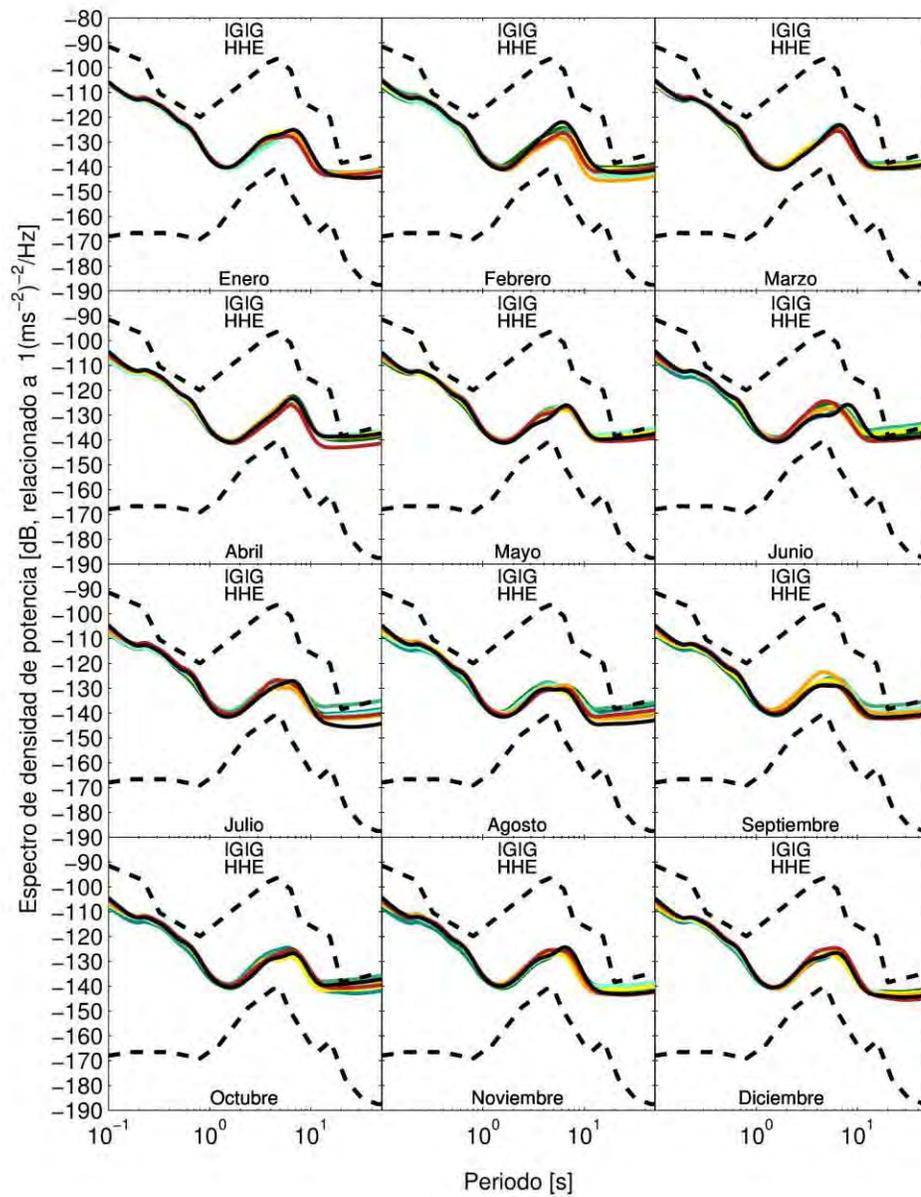


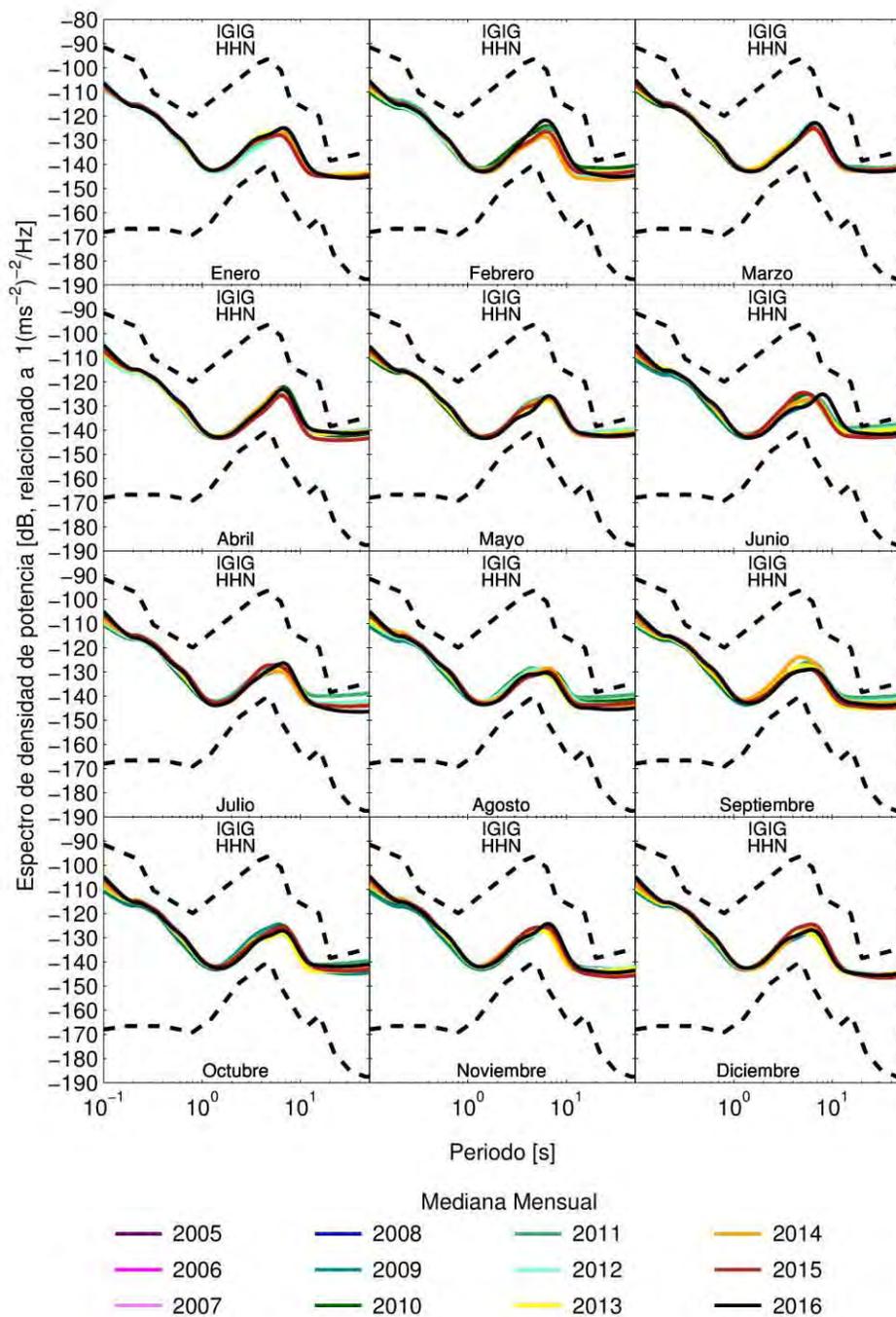


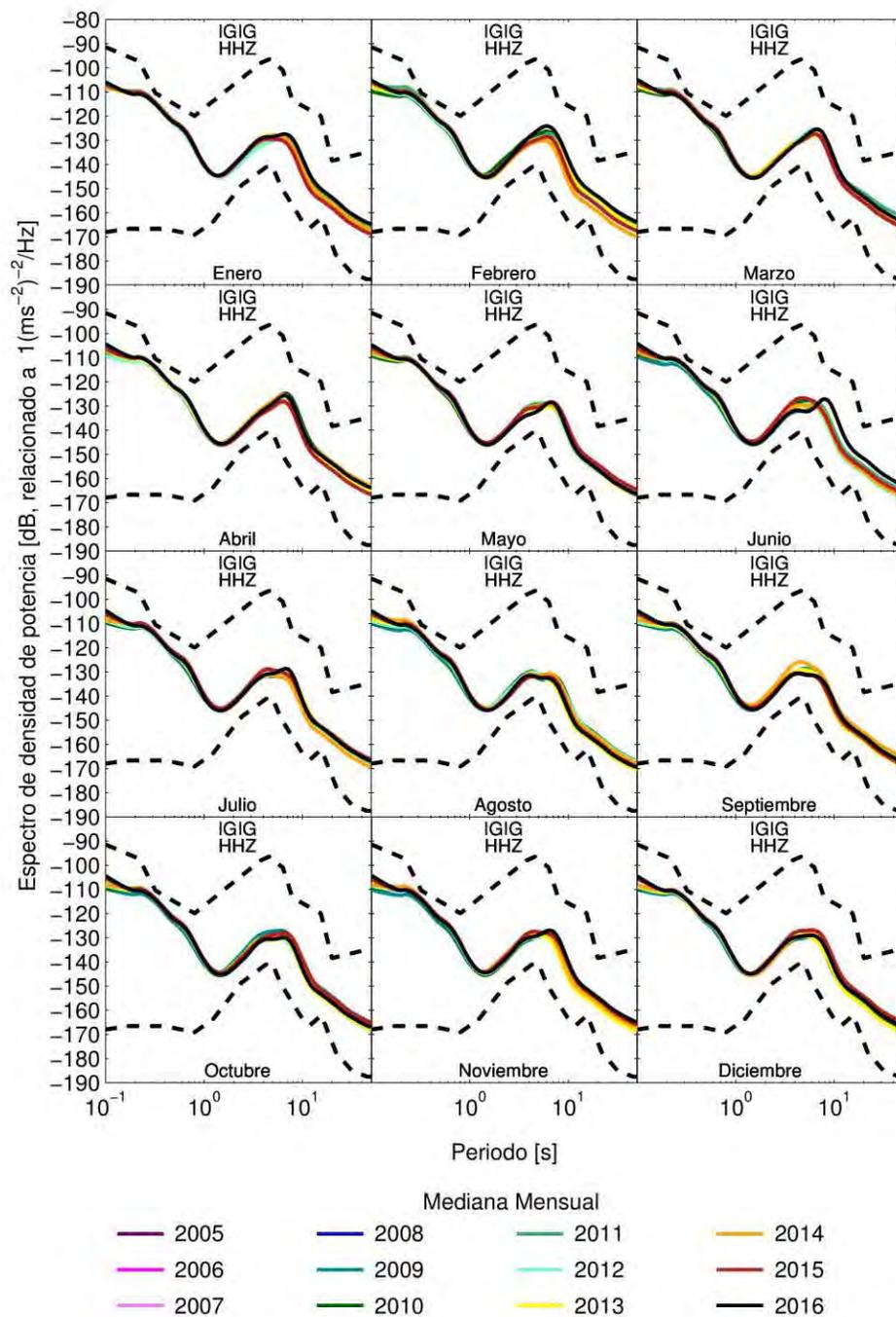


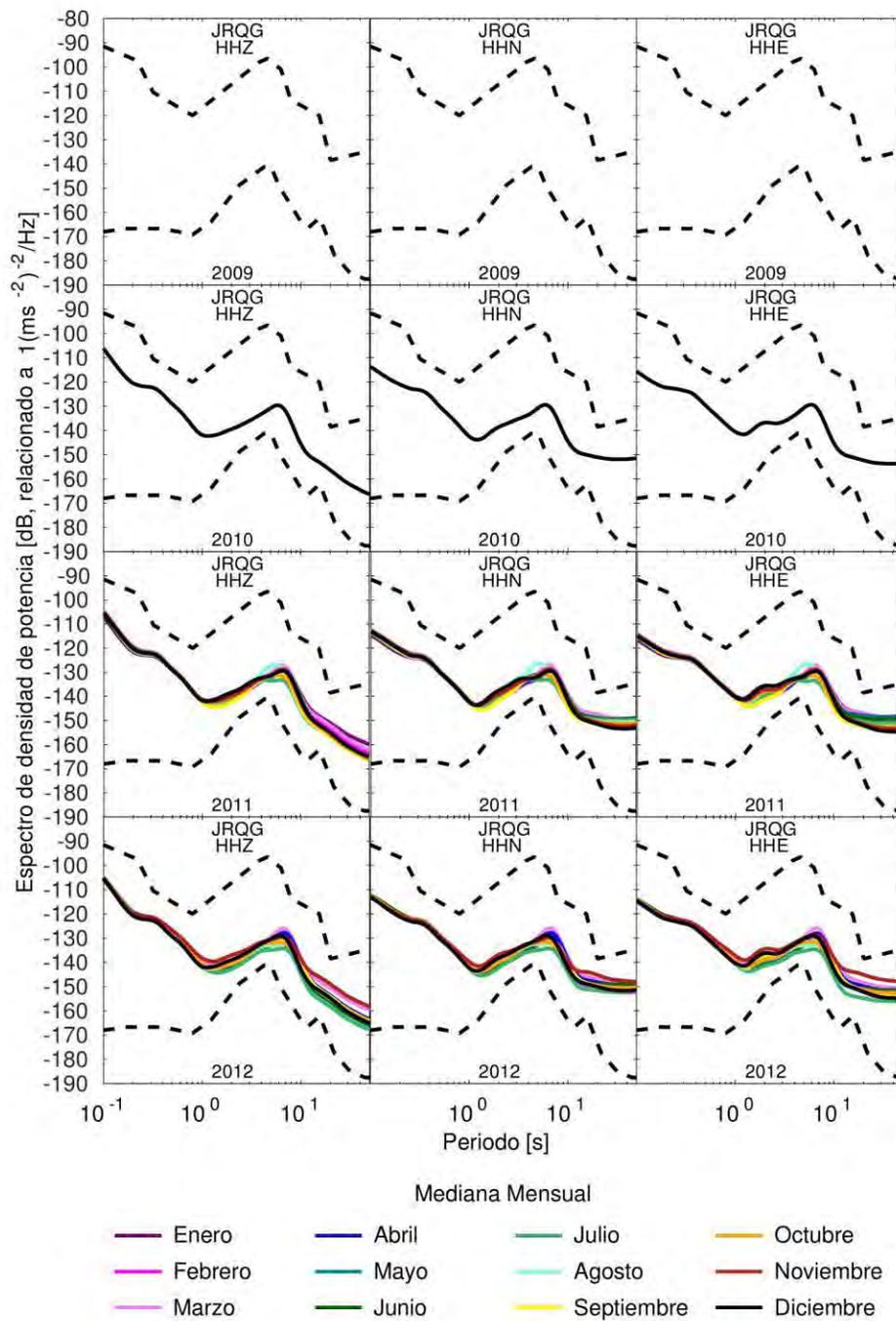


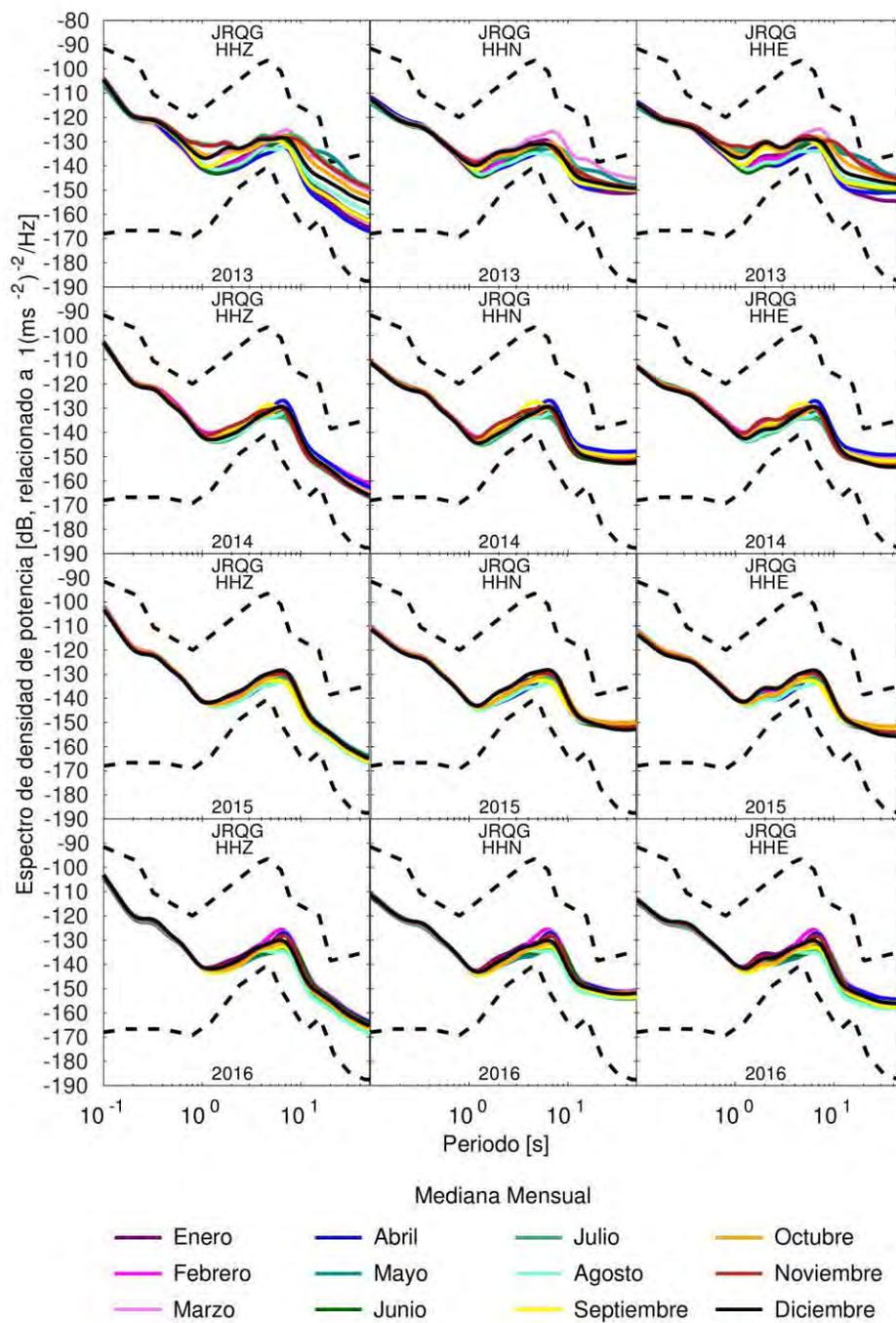


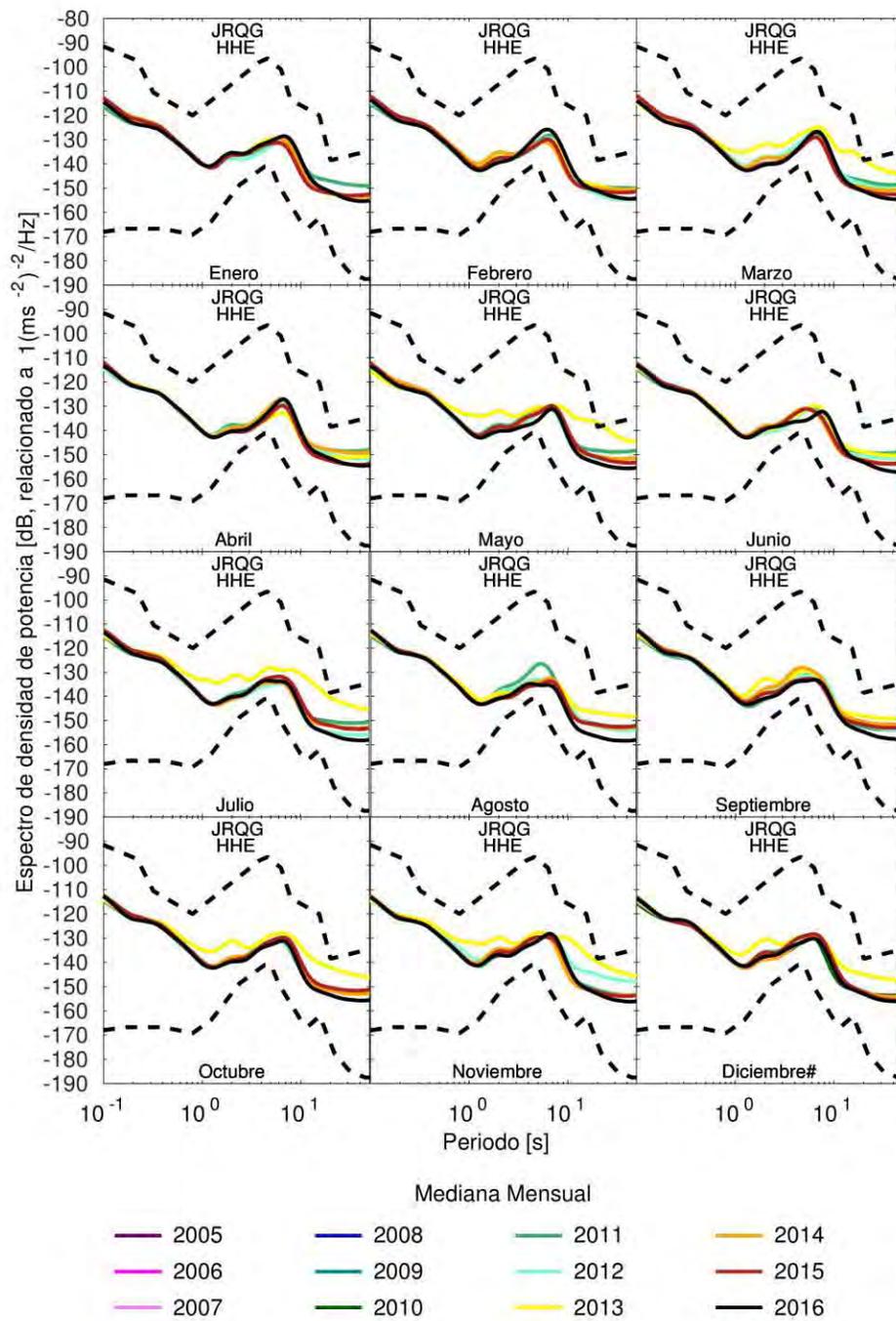


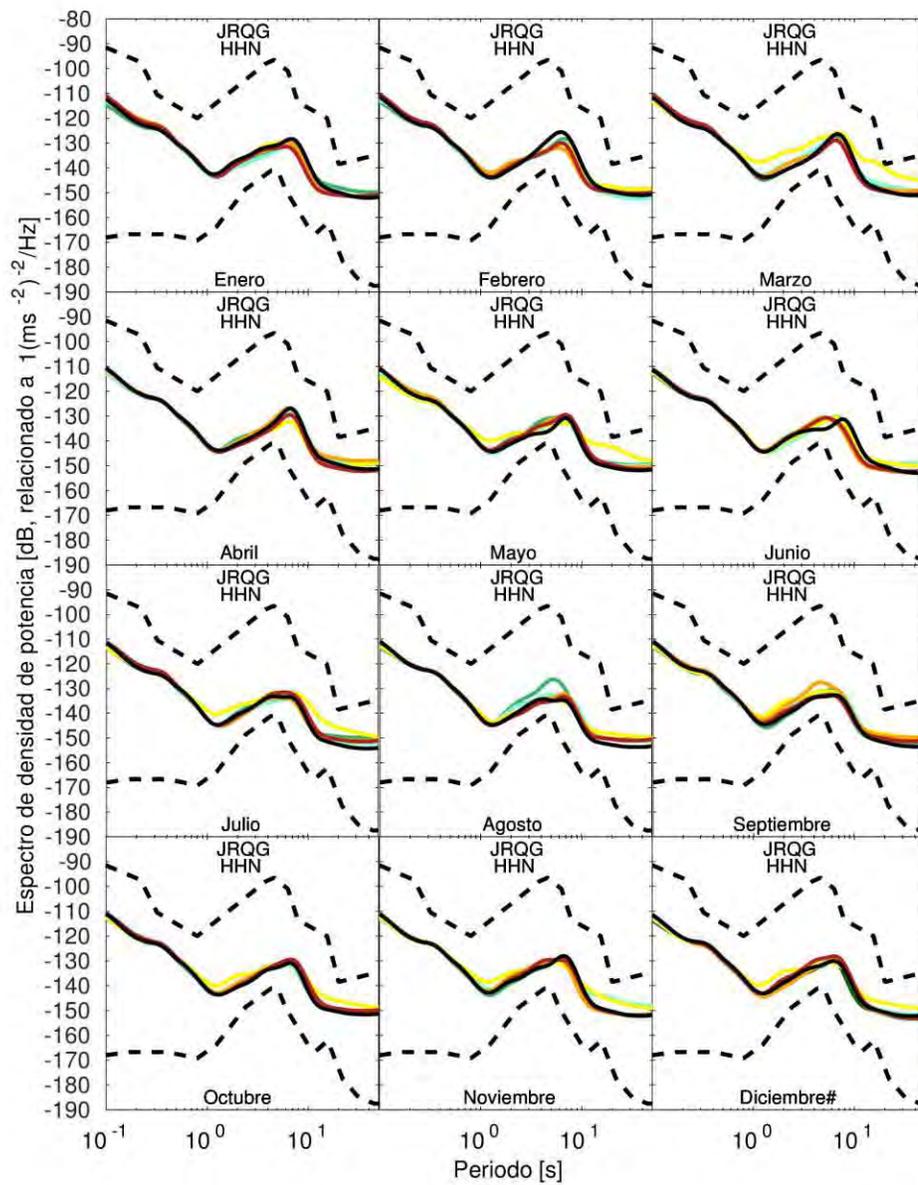






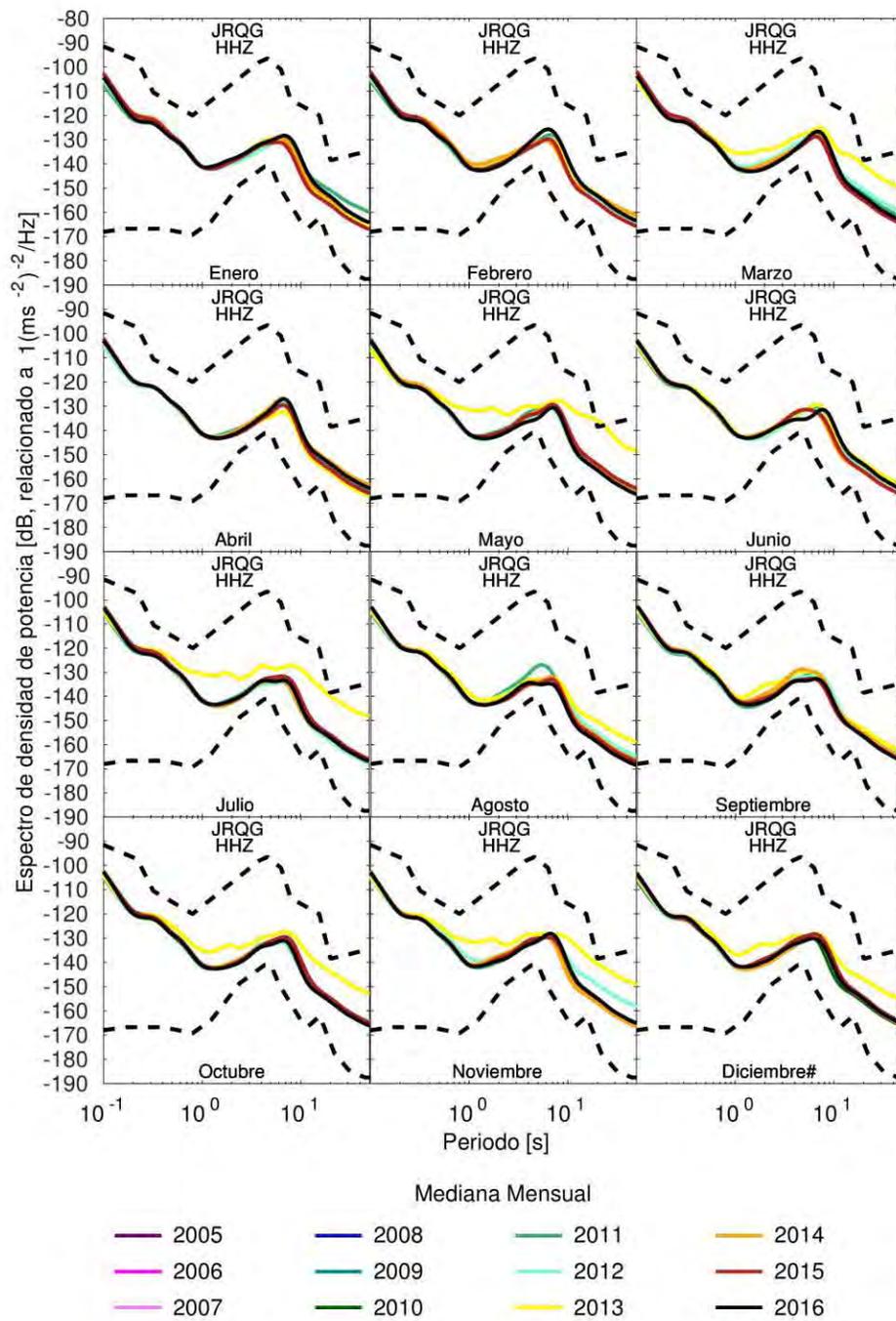


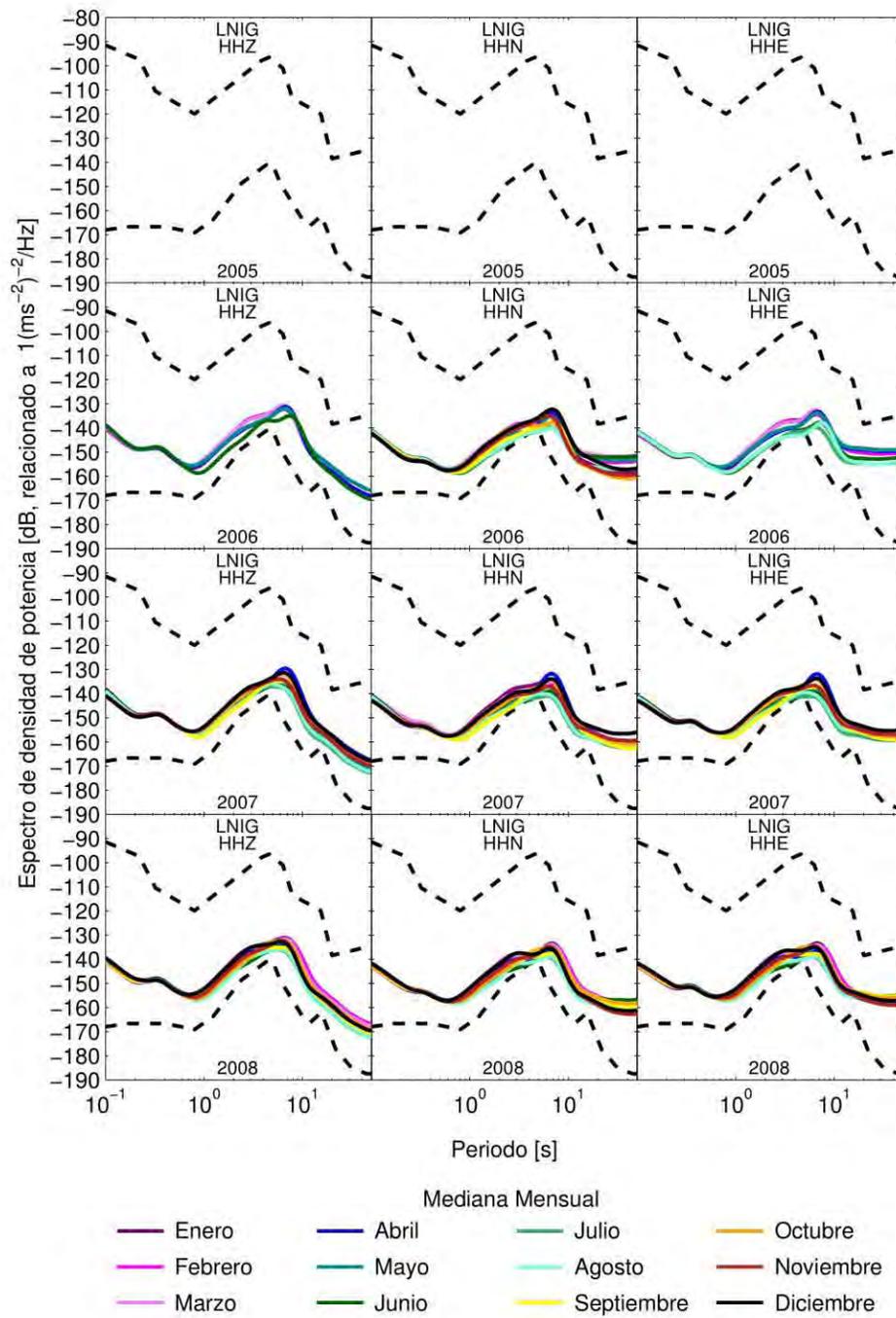


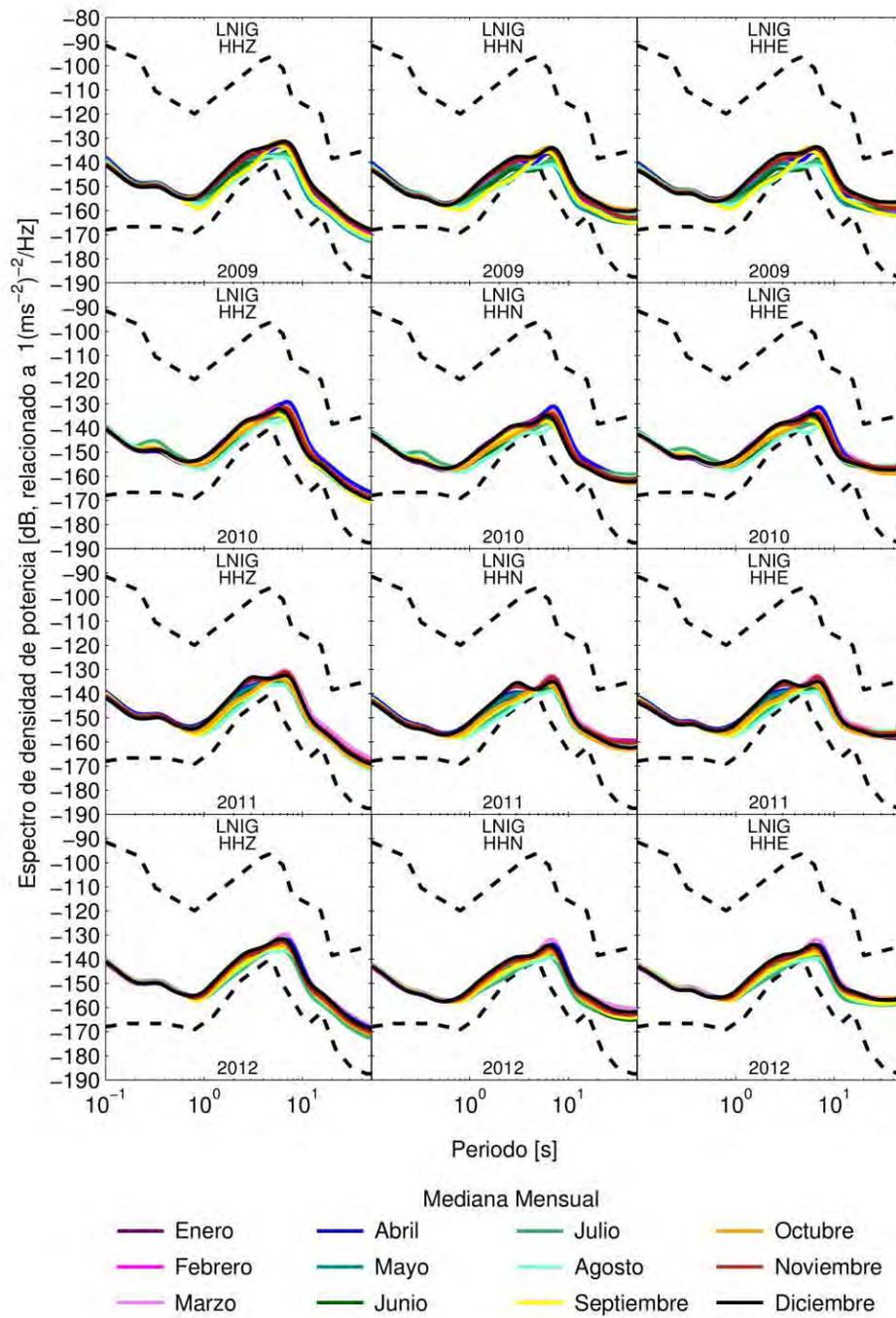


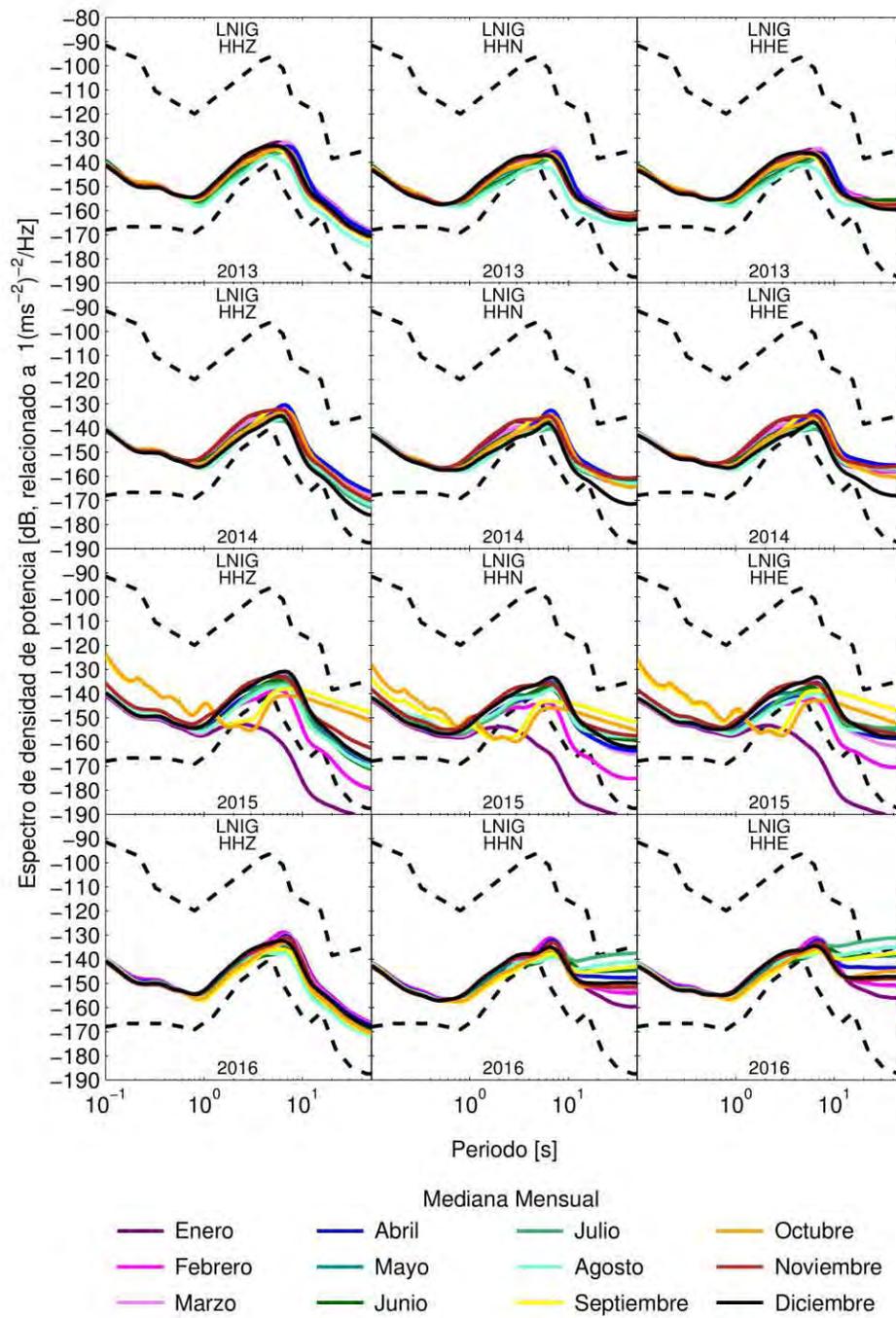
Mediana Mensual

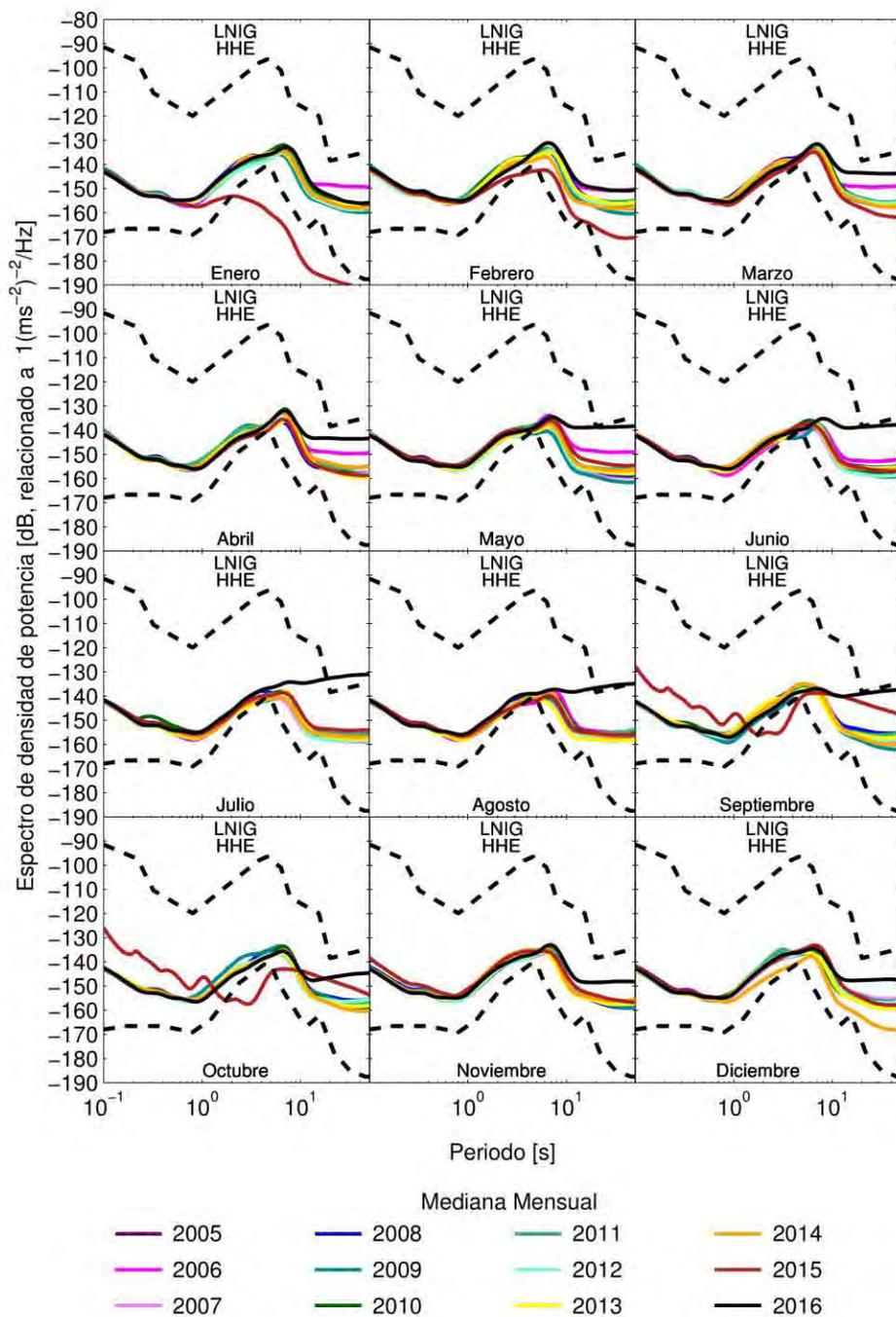


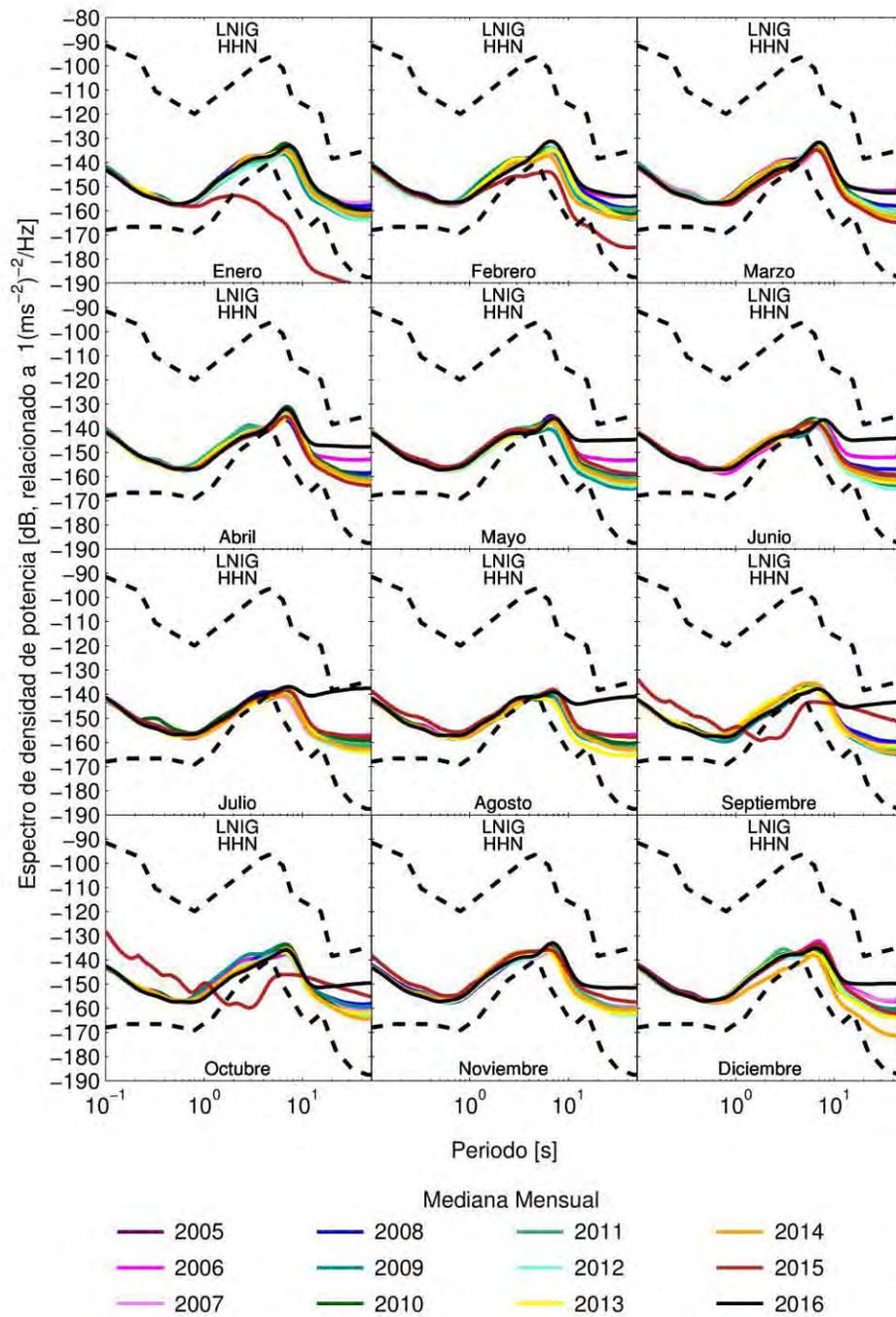


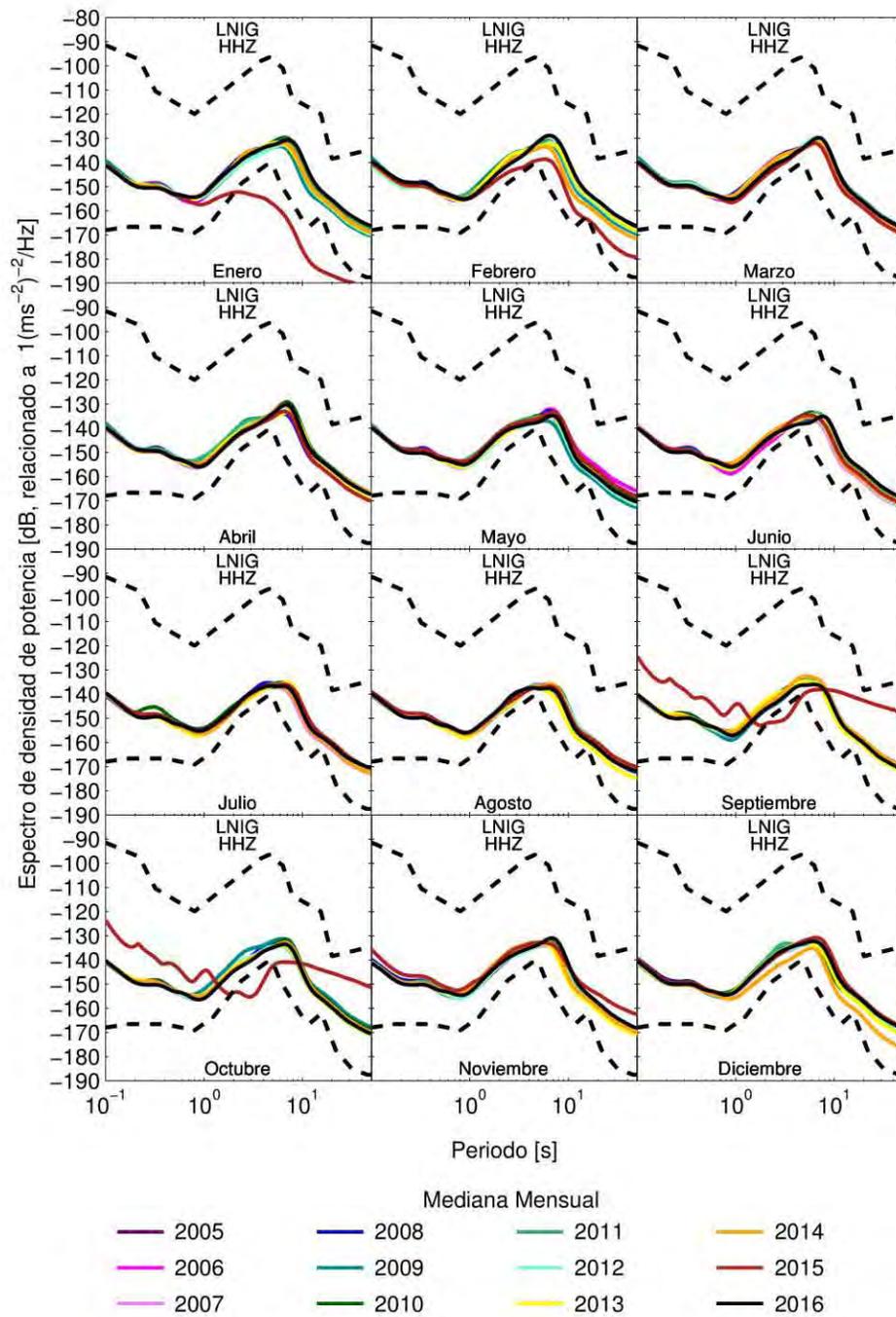


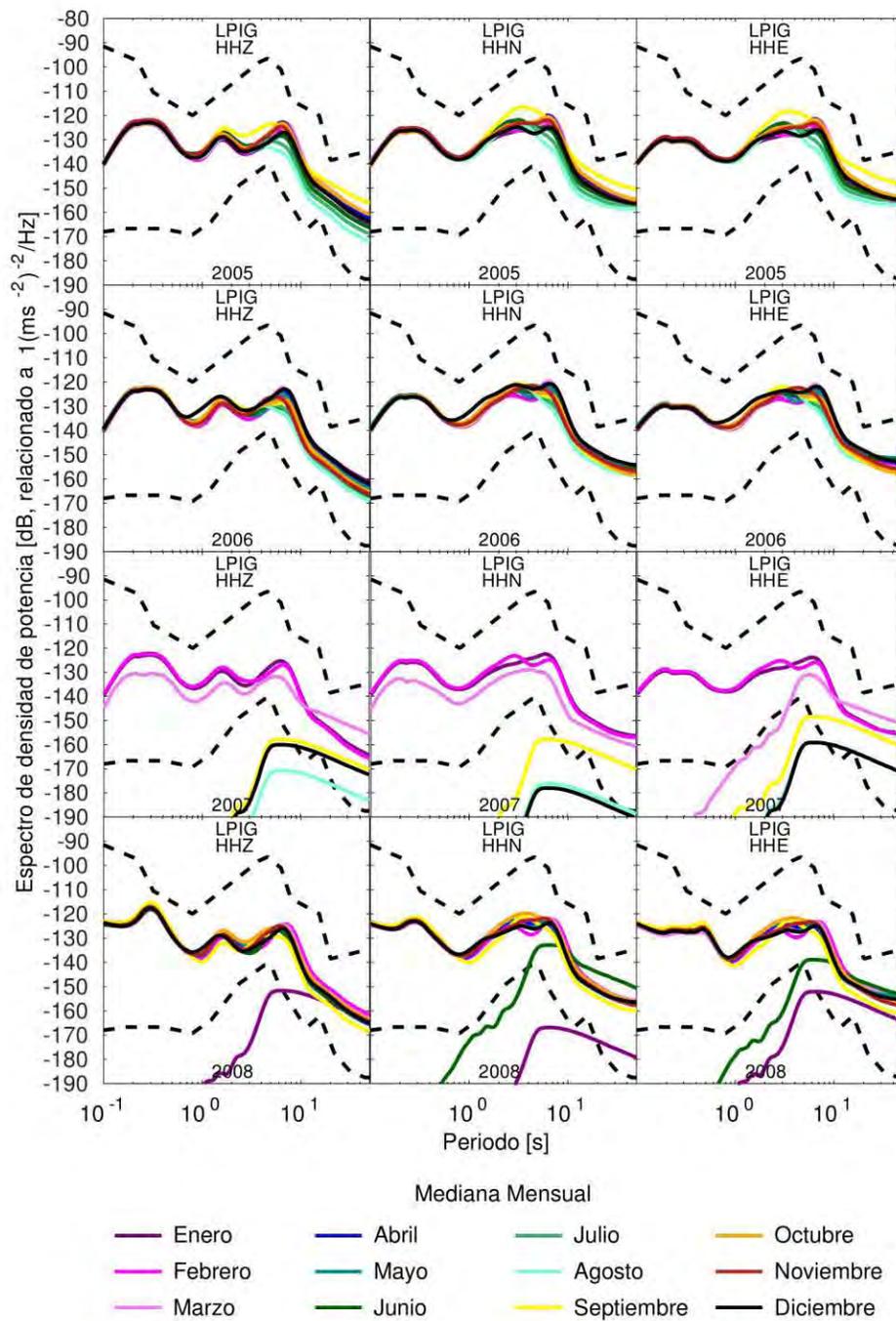


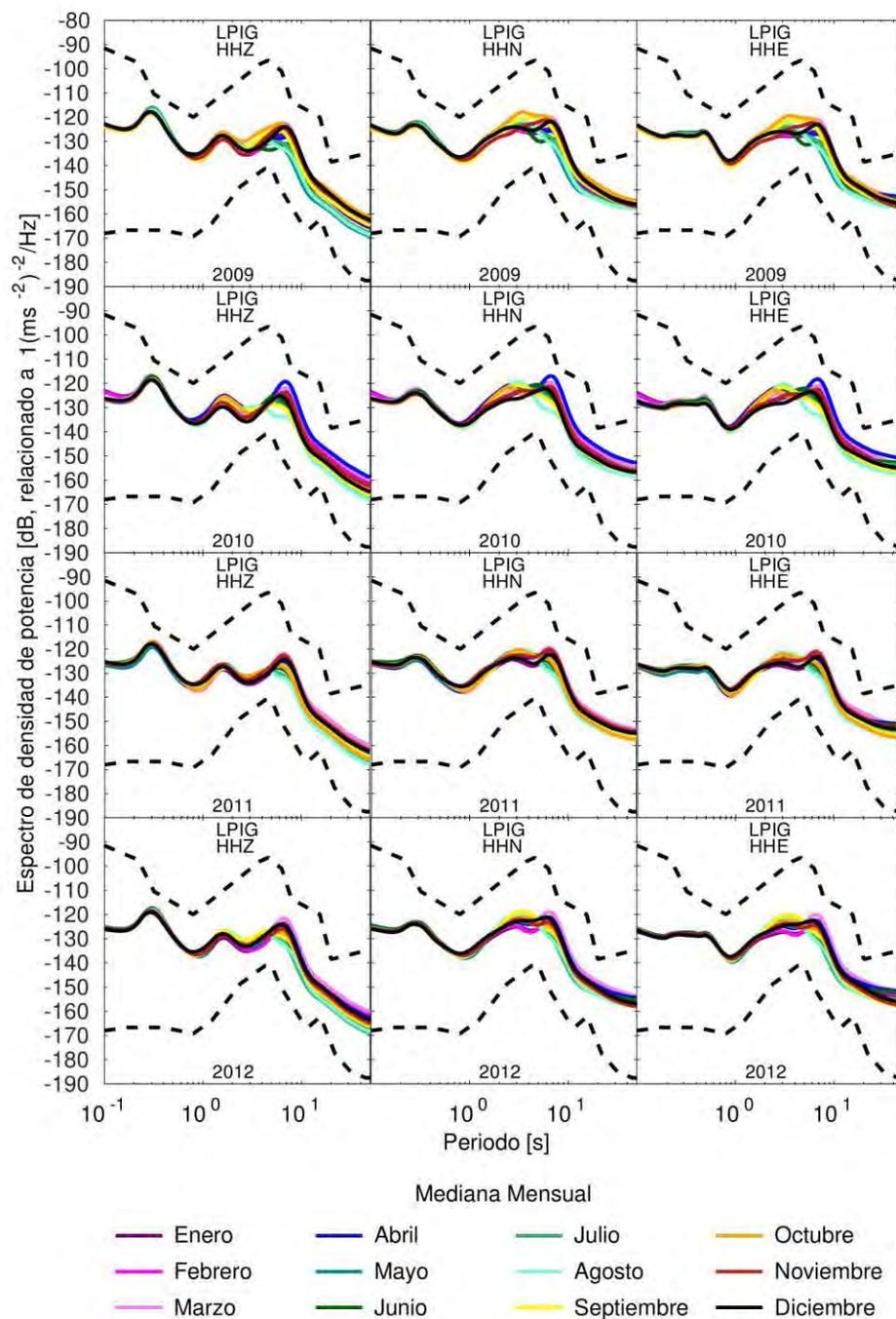


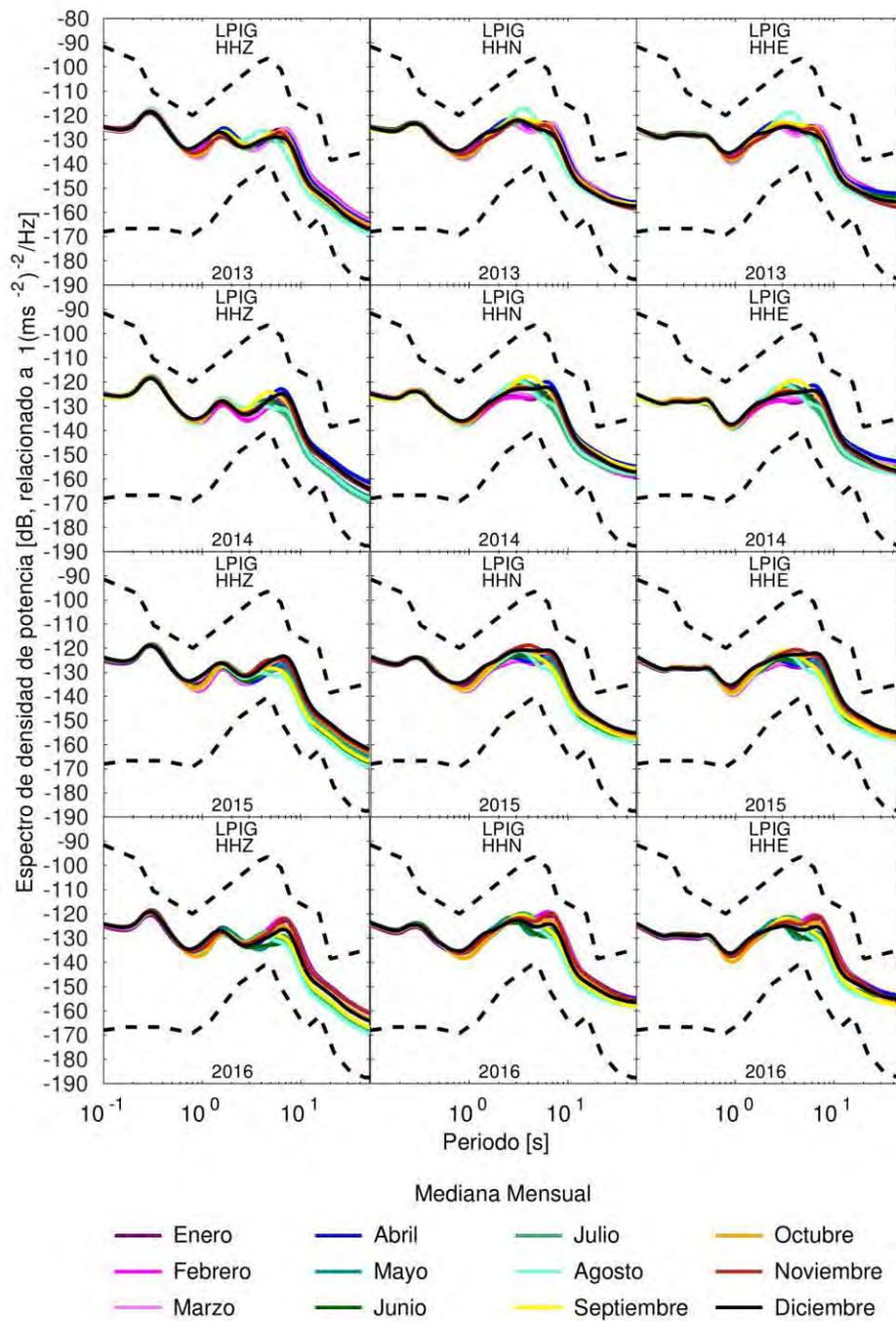


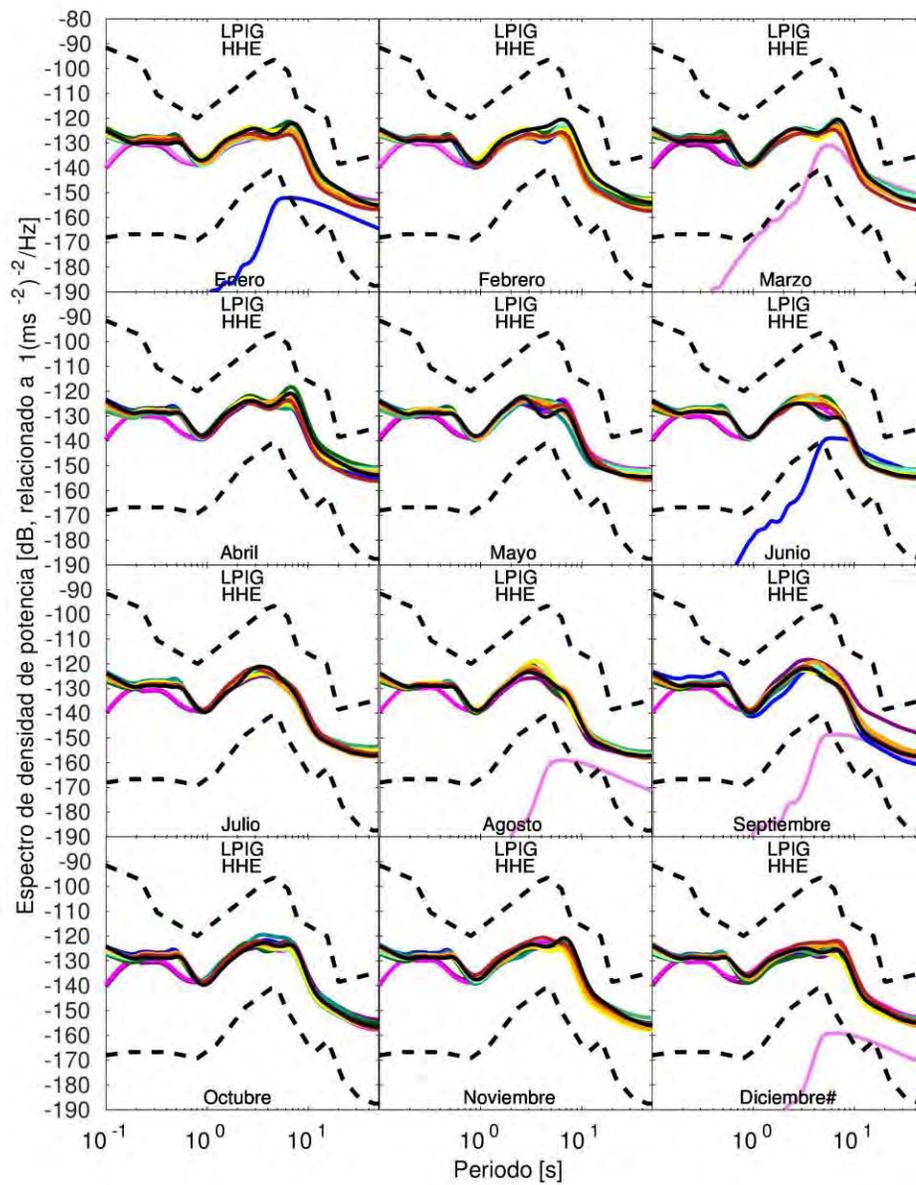






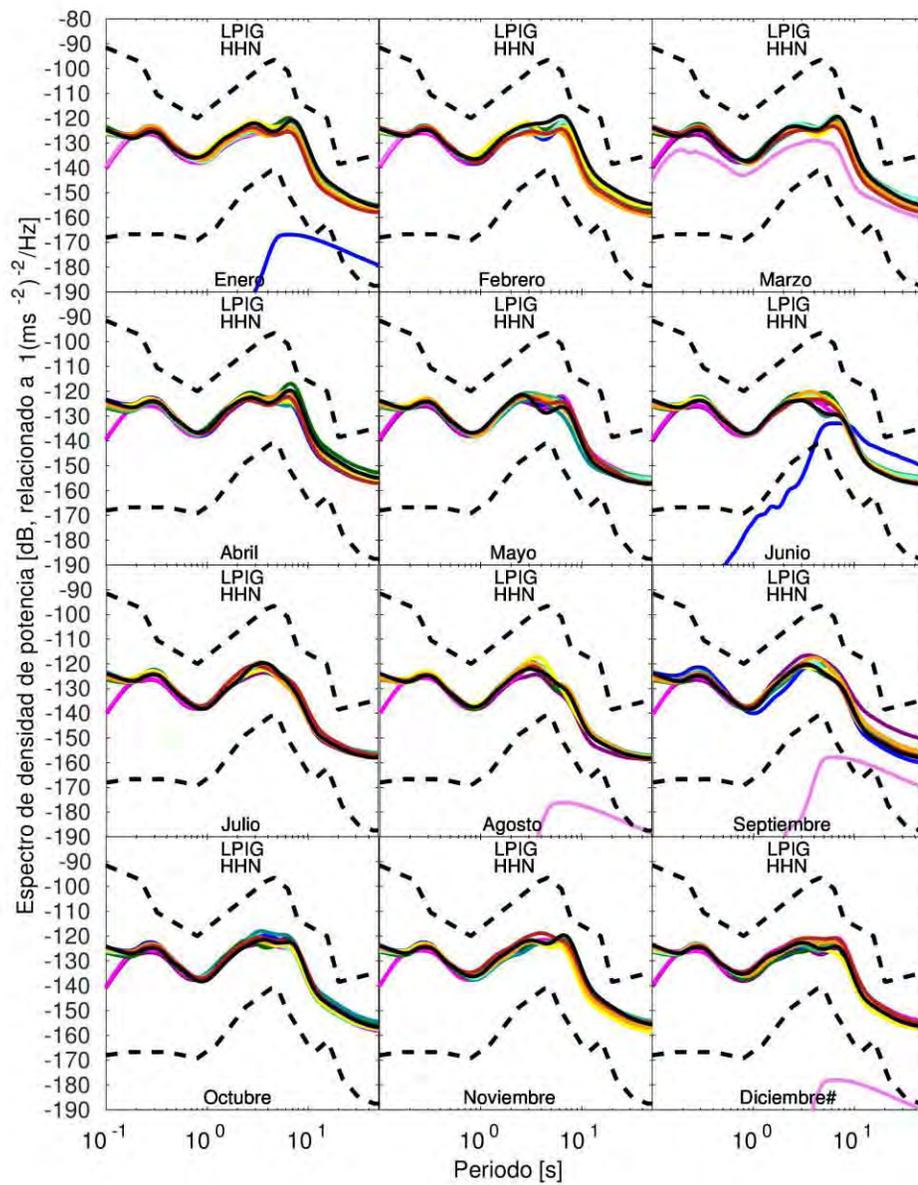






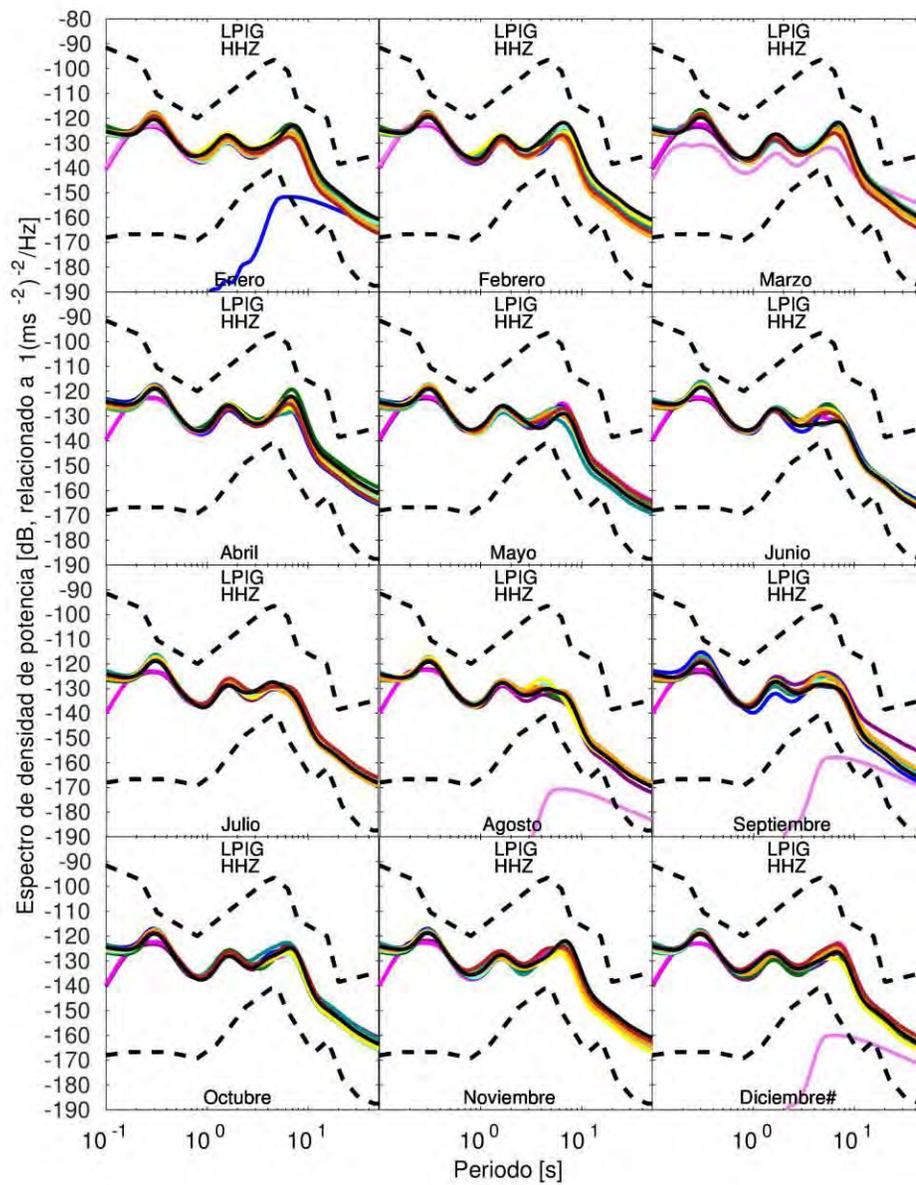
Mediana Mensual





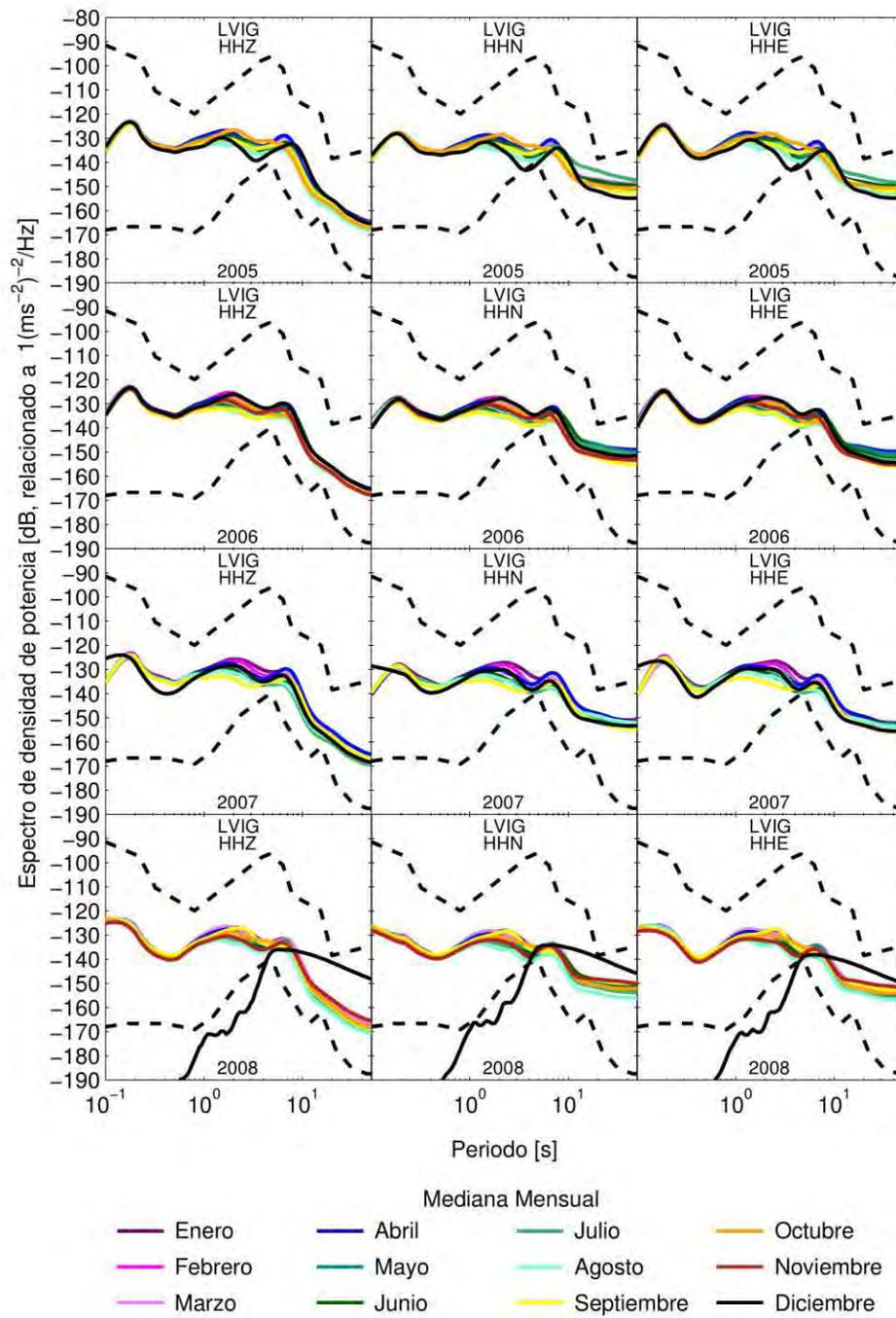
Mediana Mensual

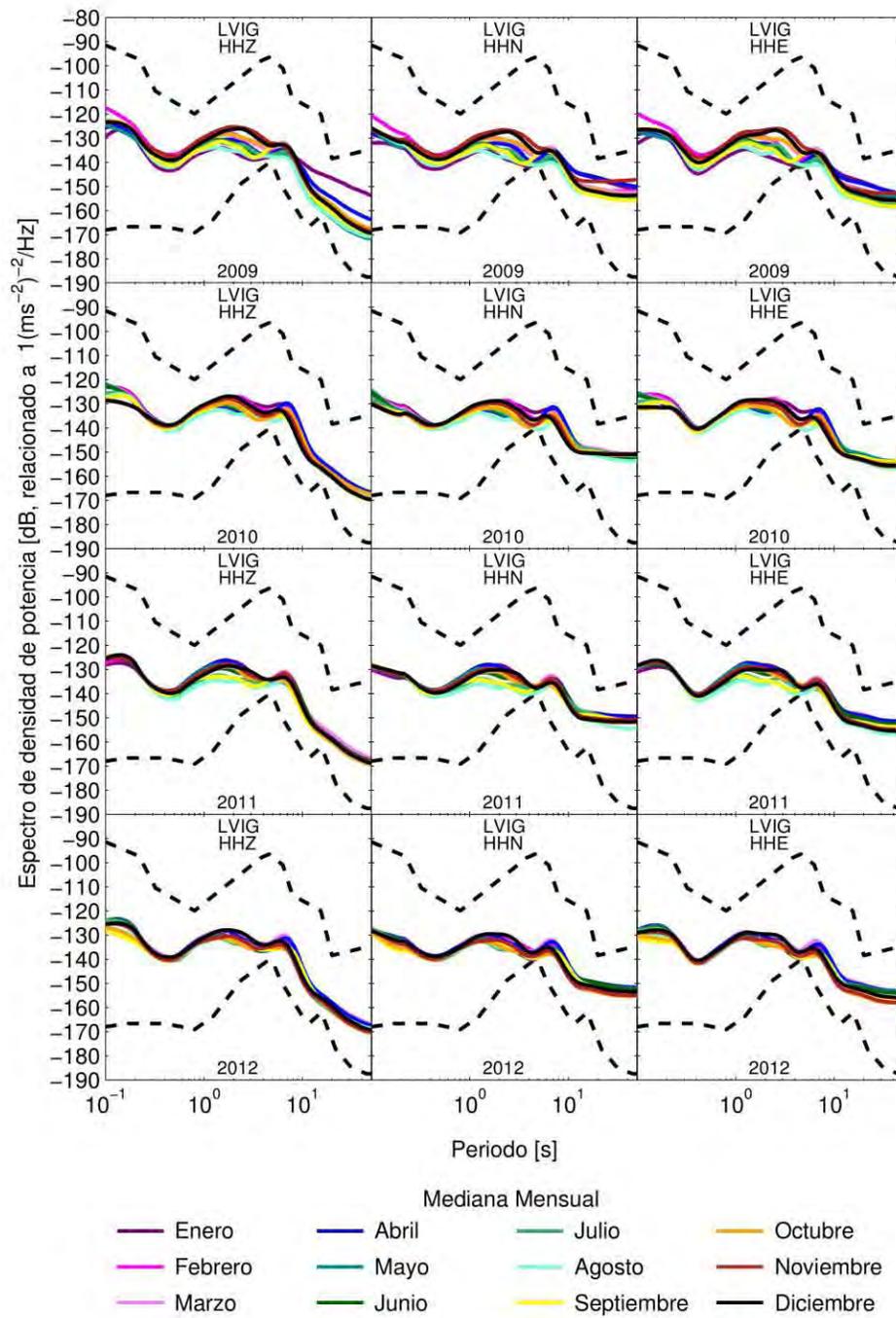


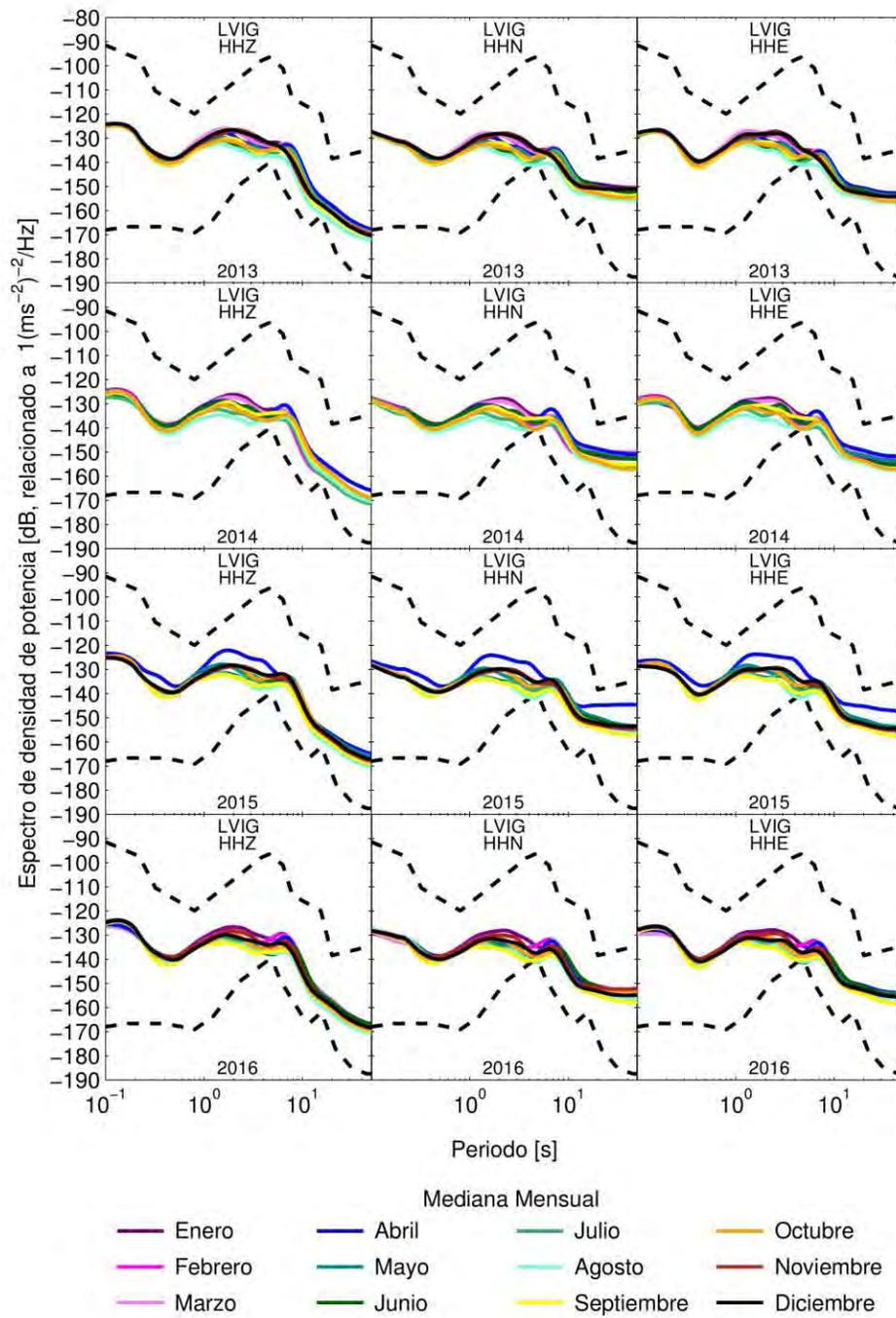


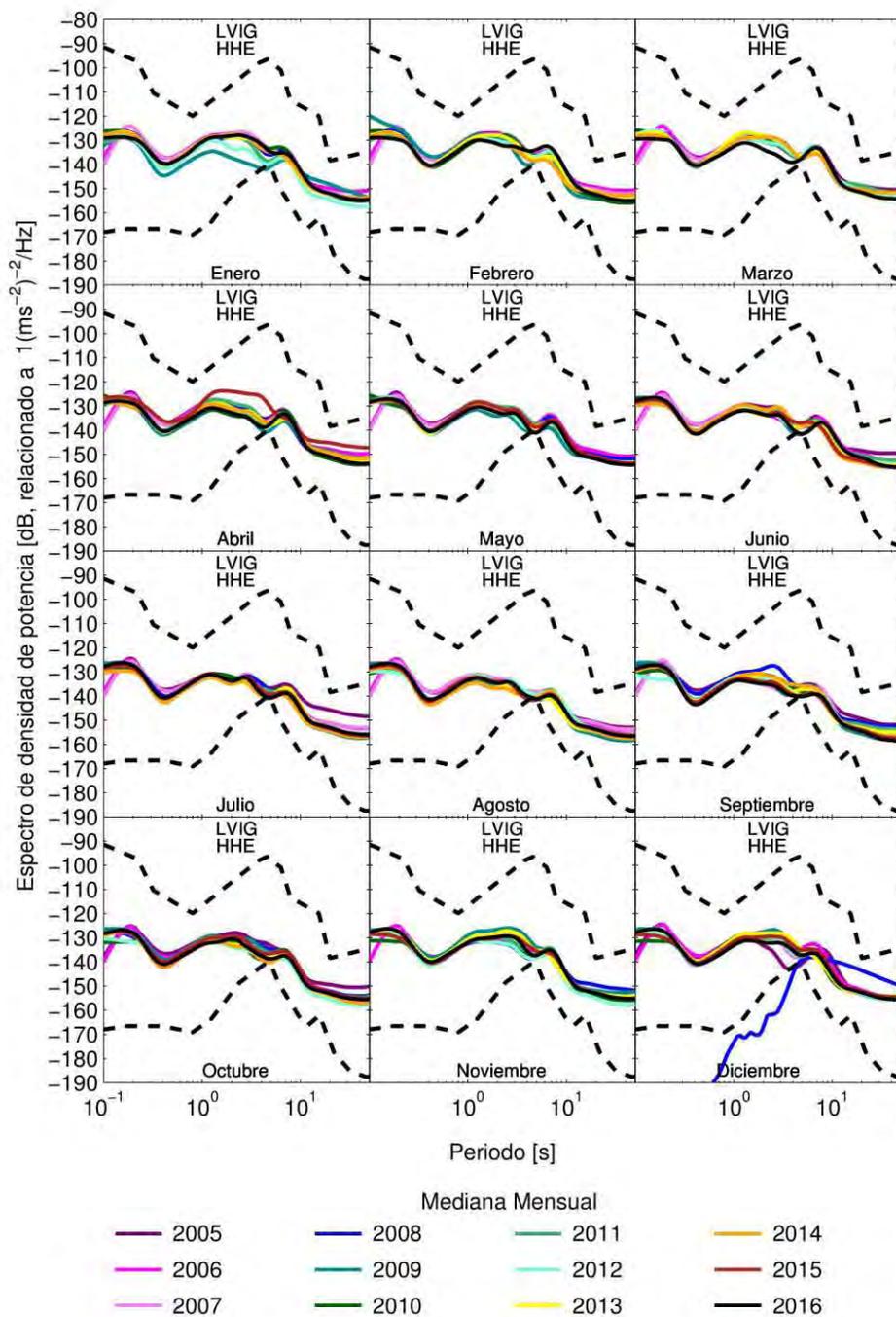
Mediana Mensual

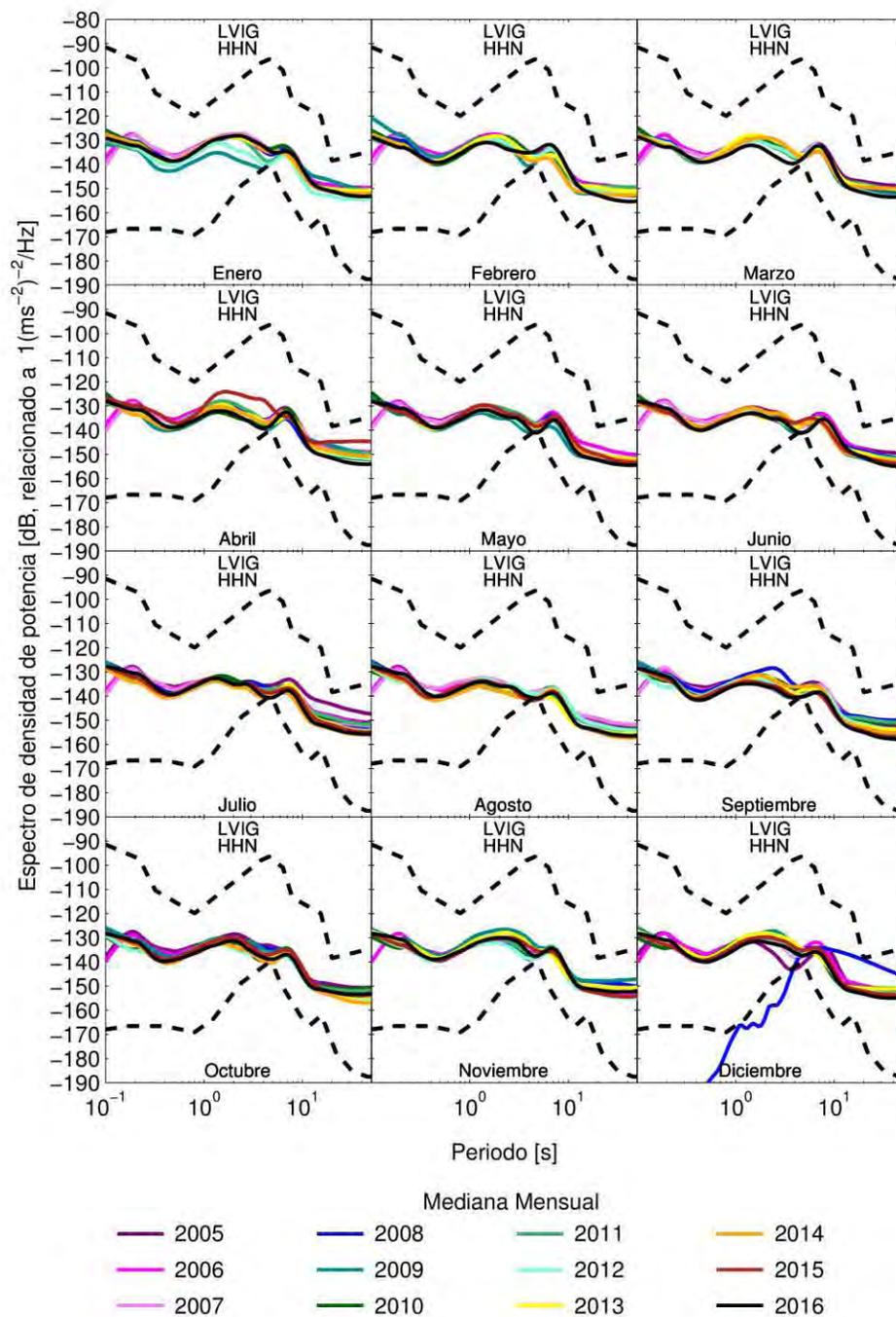


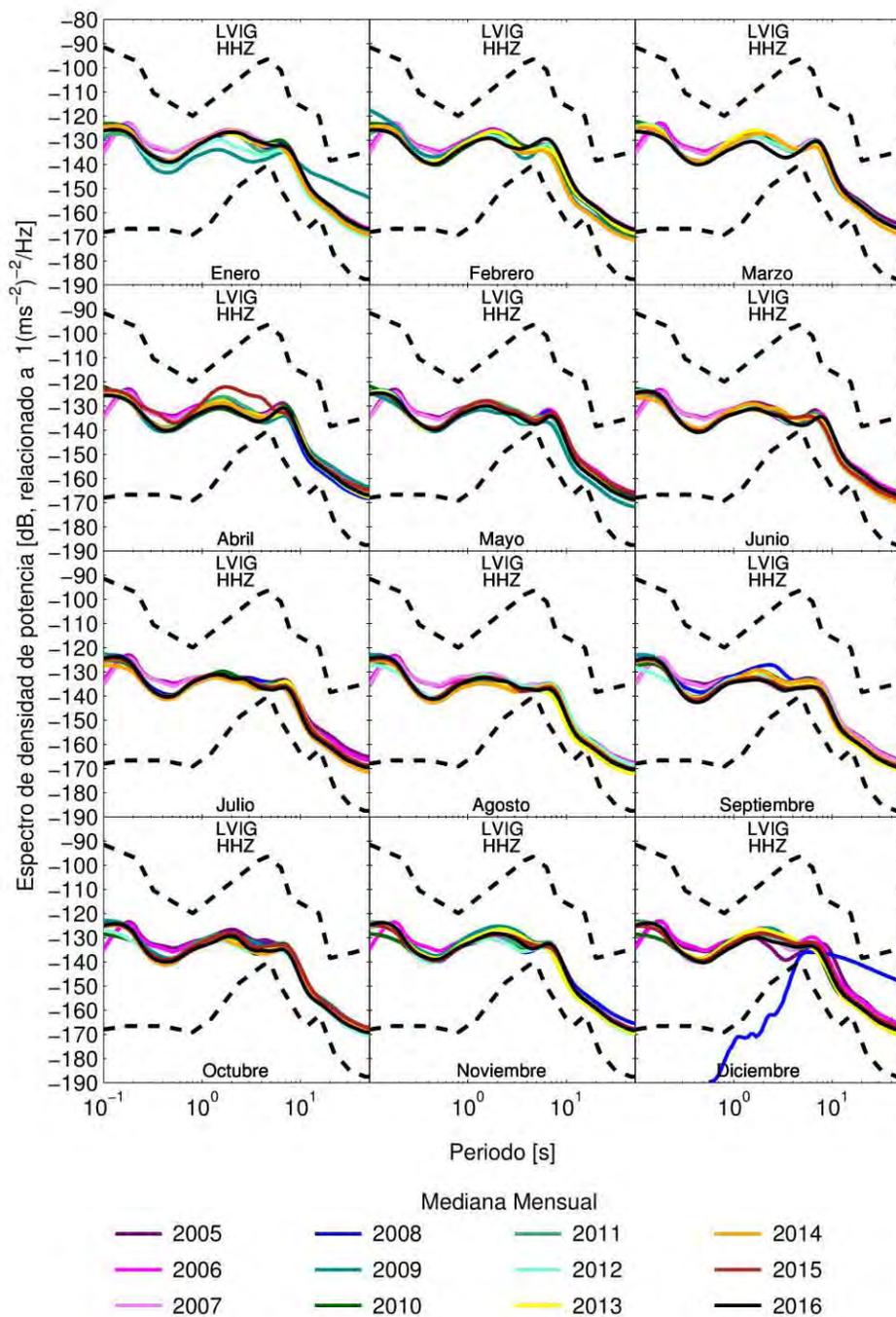


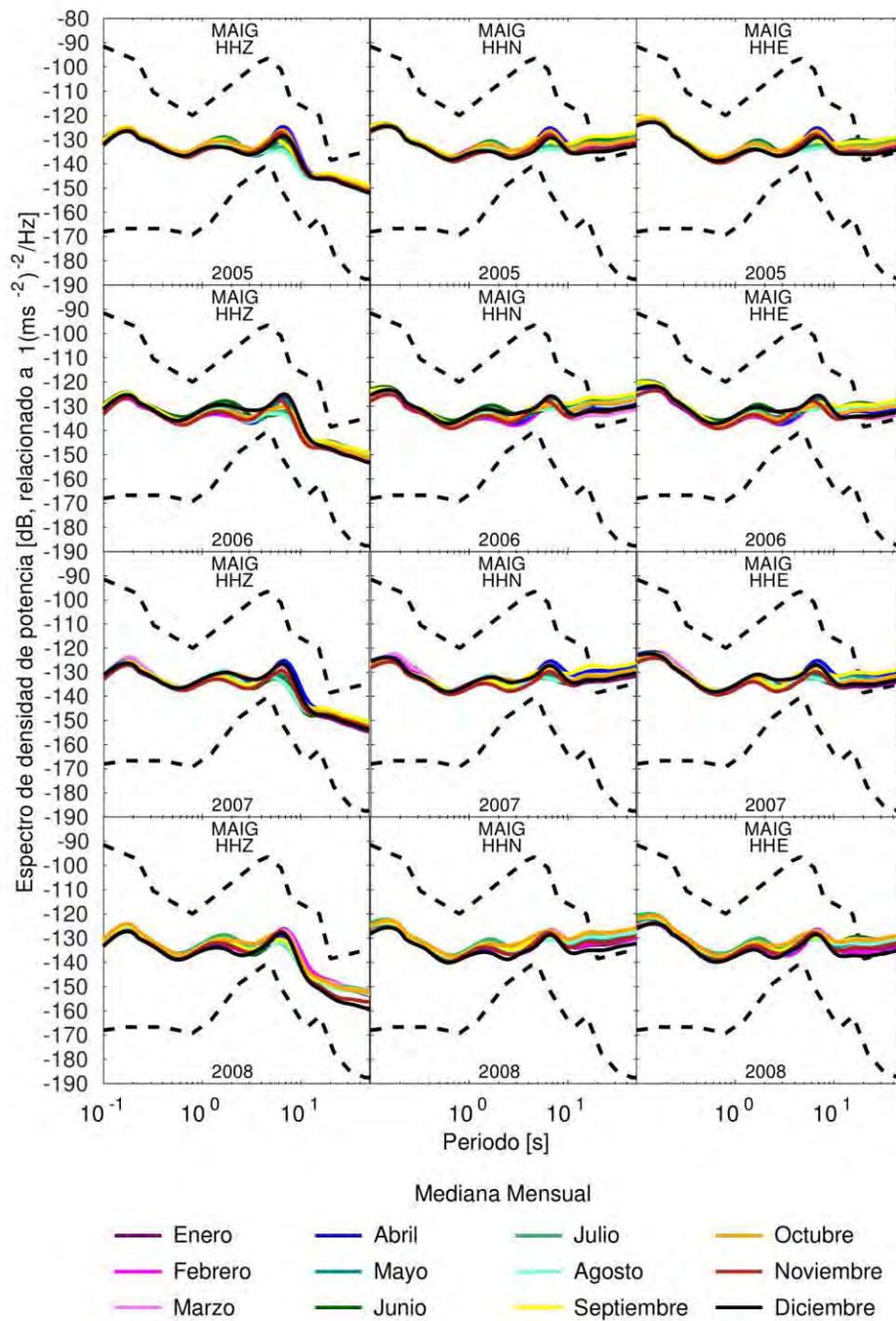


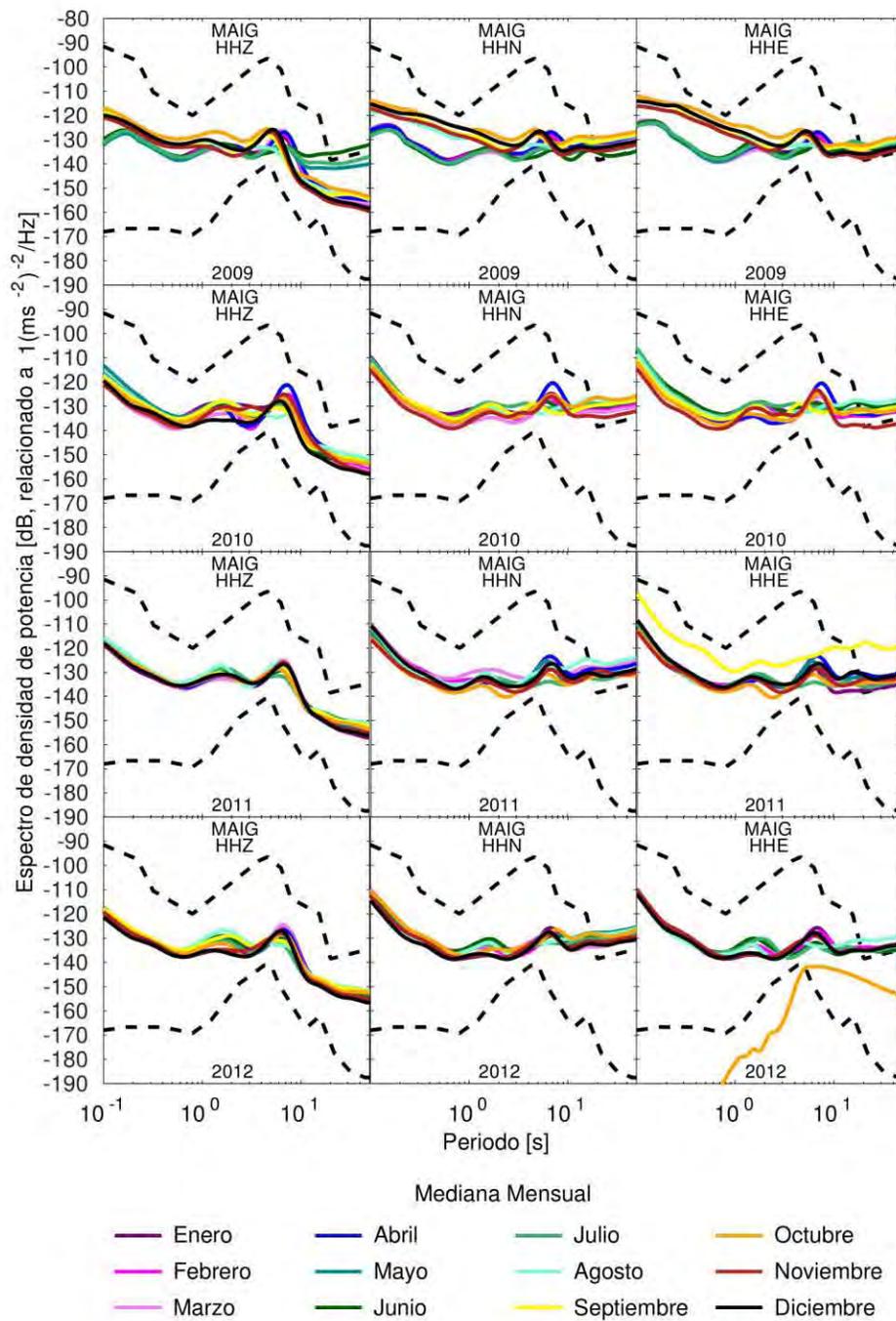


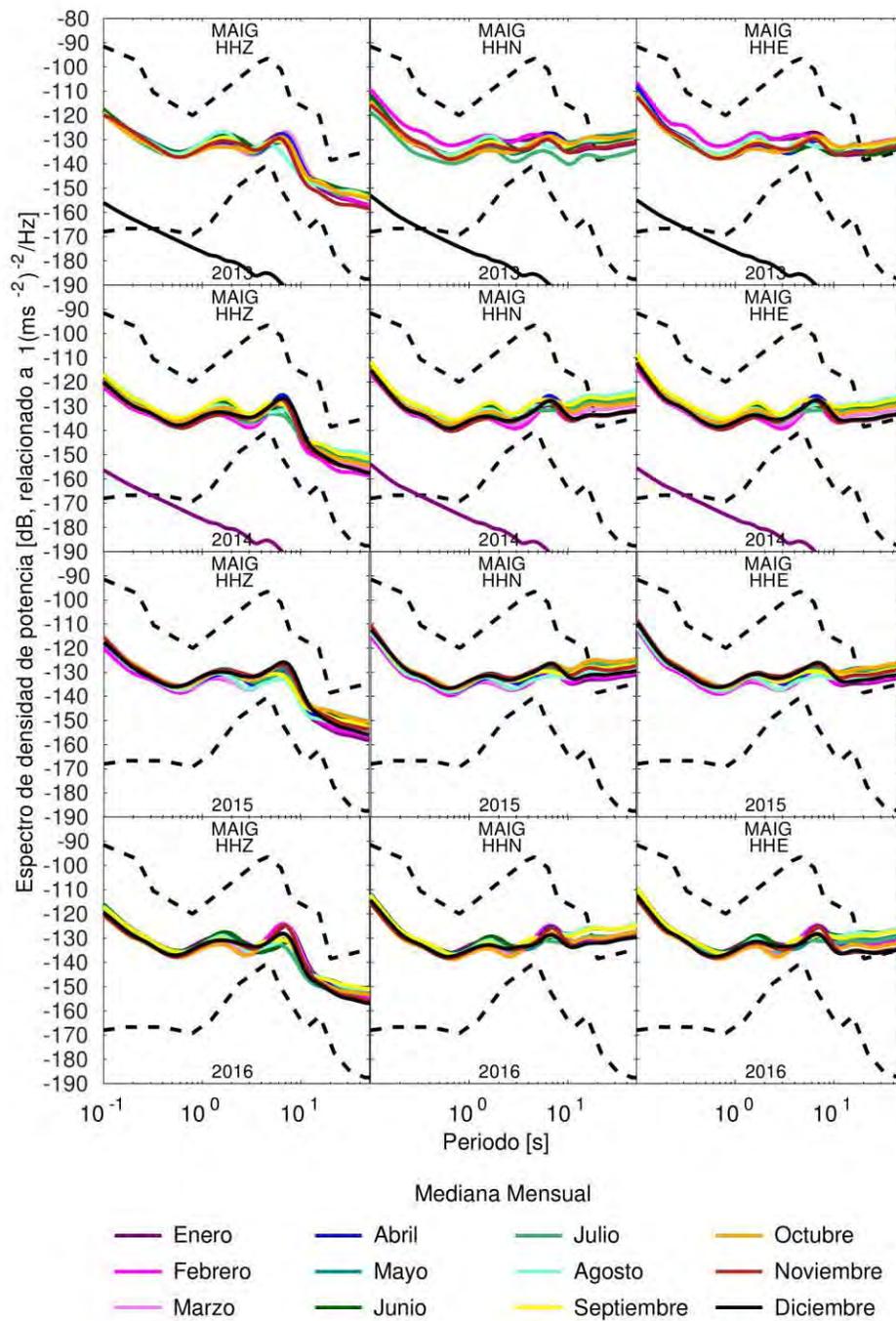


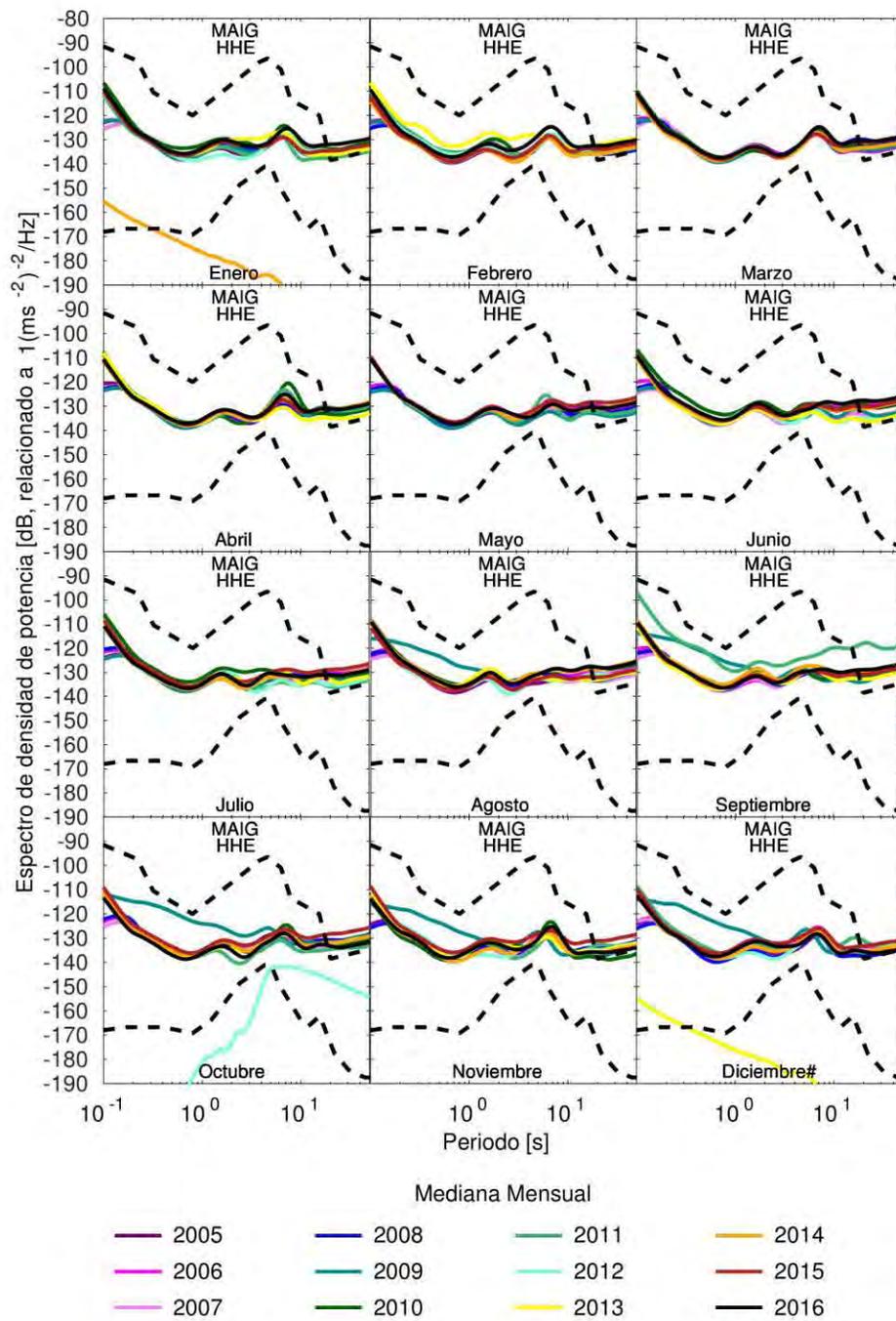


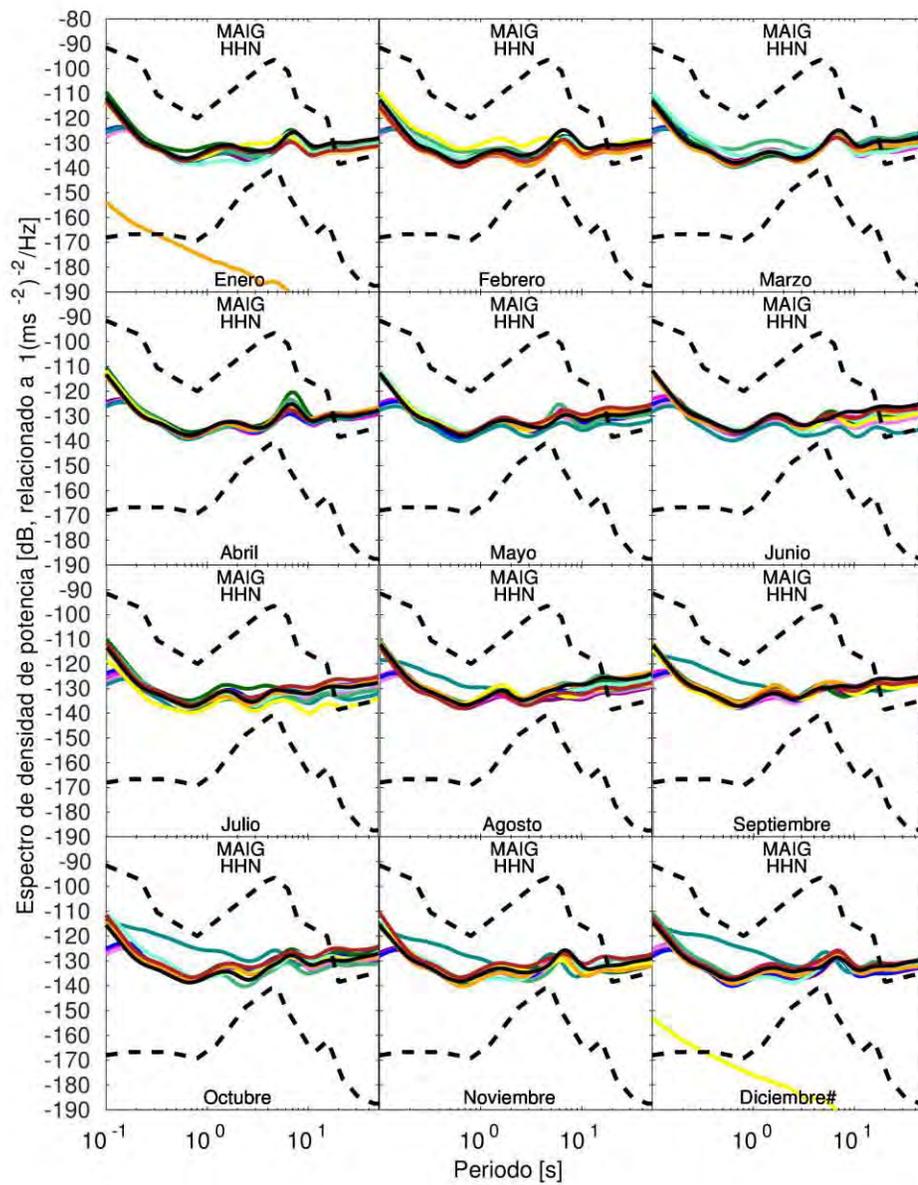






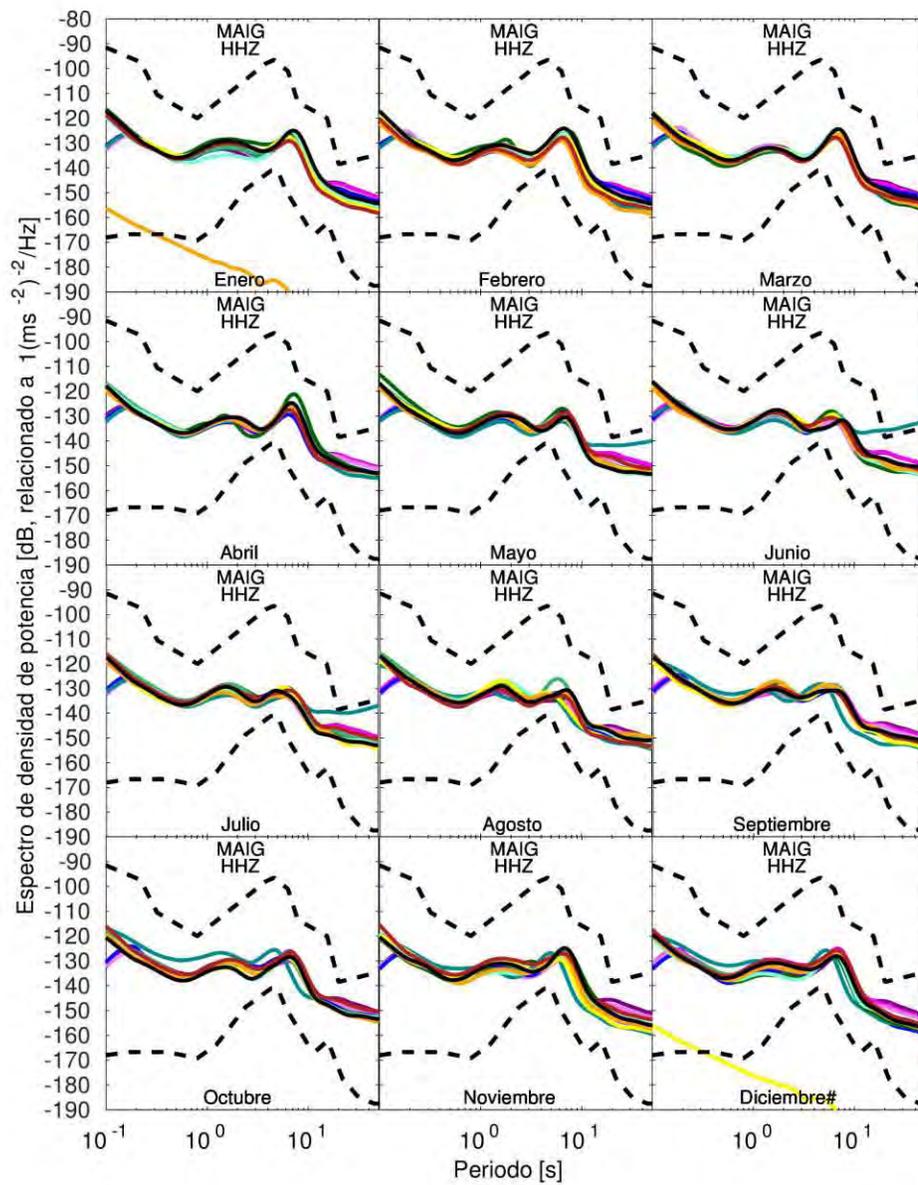






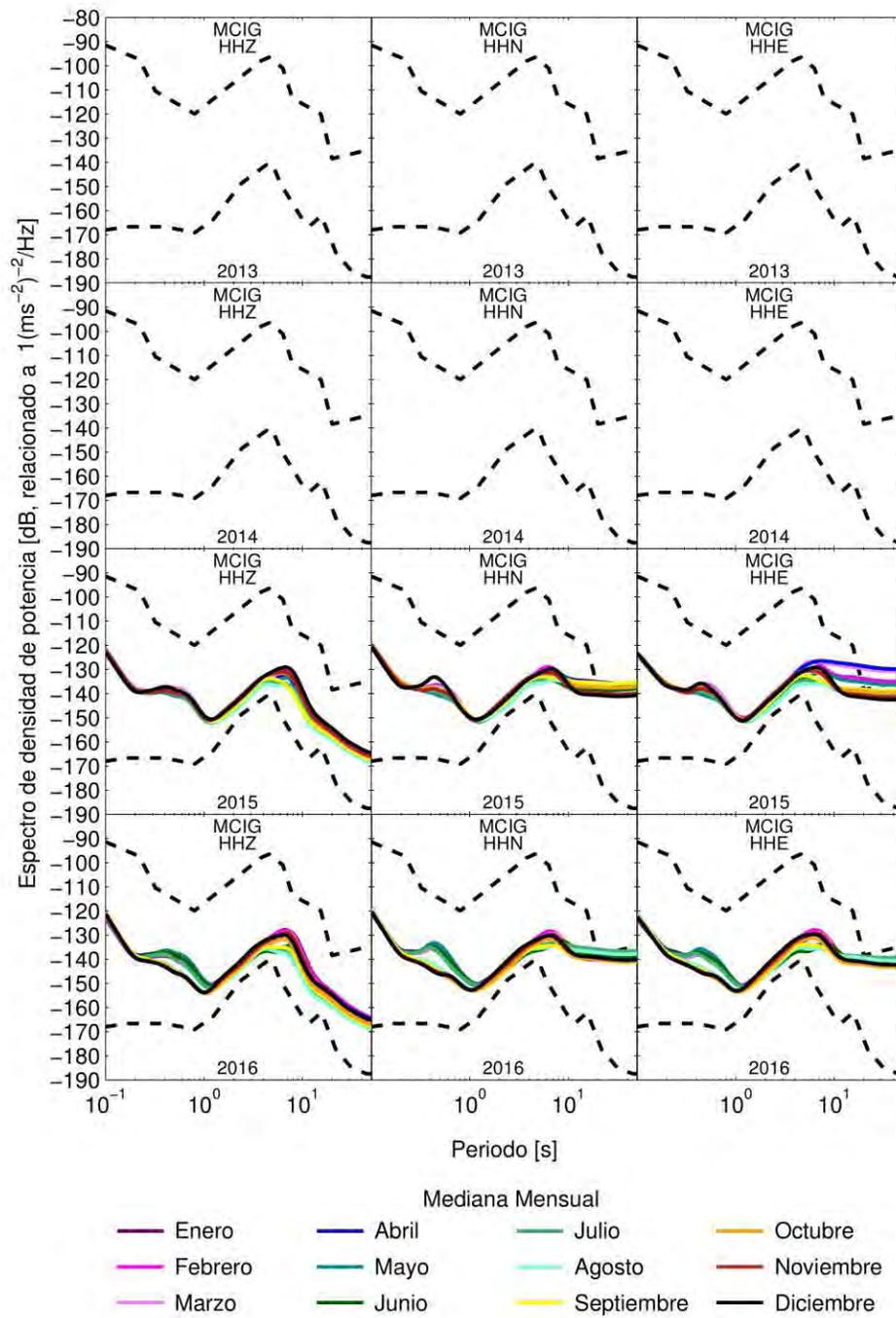
Mediana Mensual

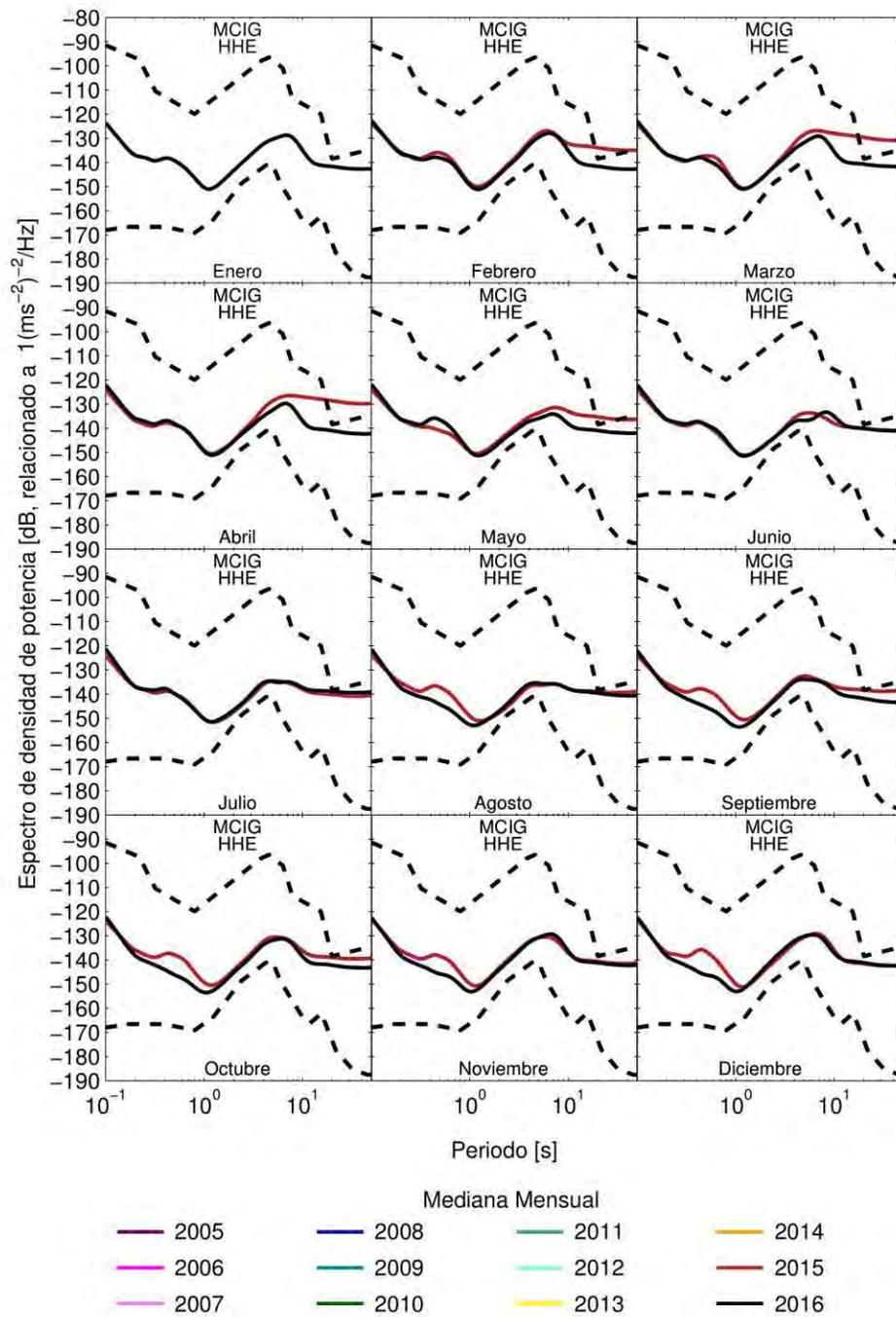


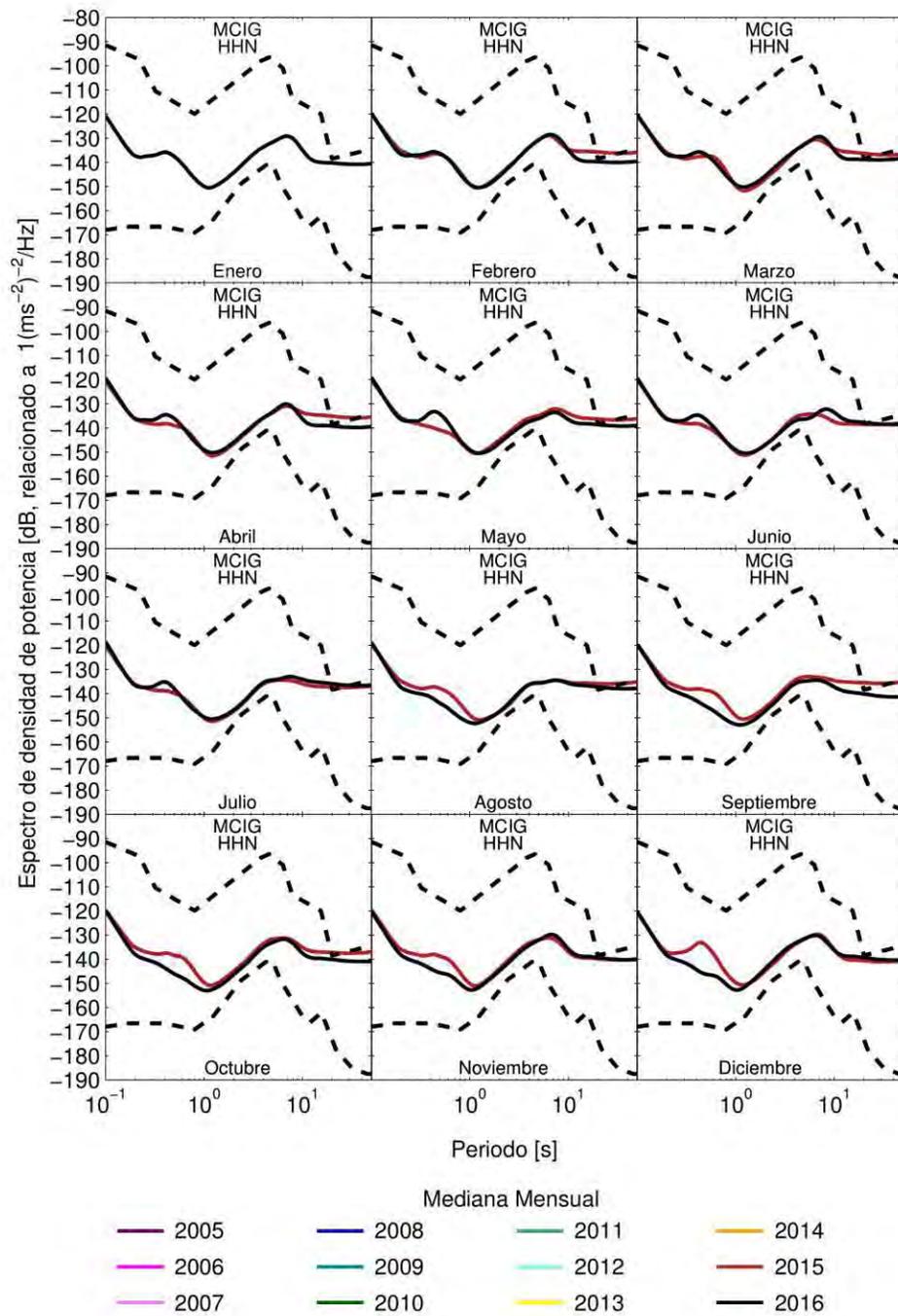


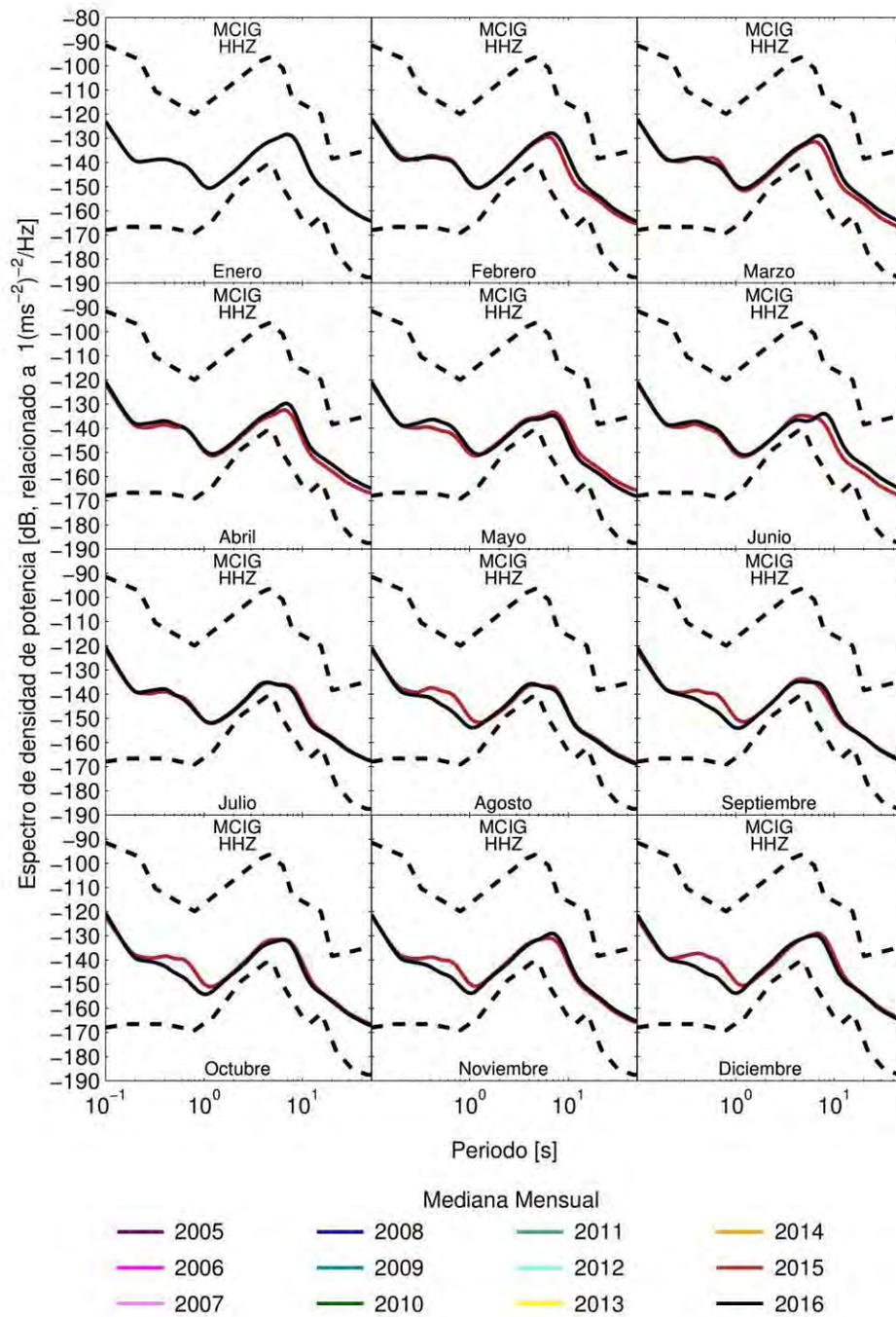
Mediana Mensual

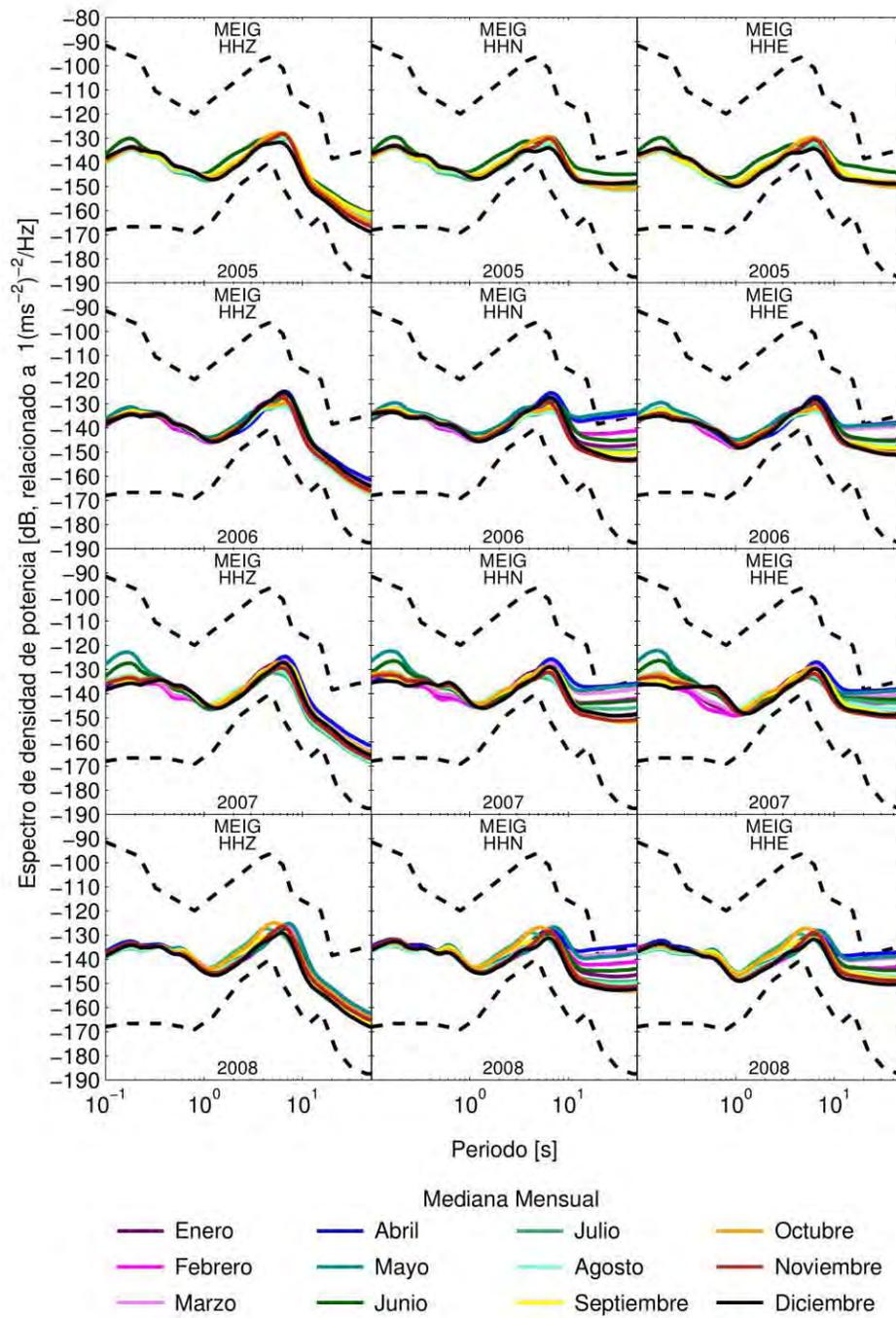


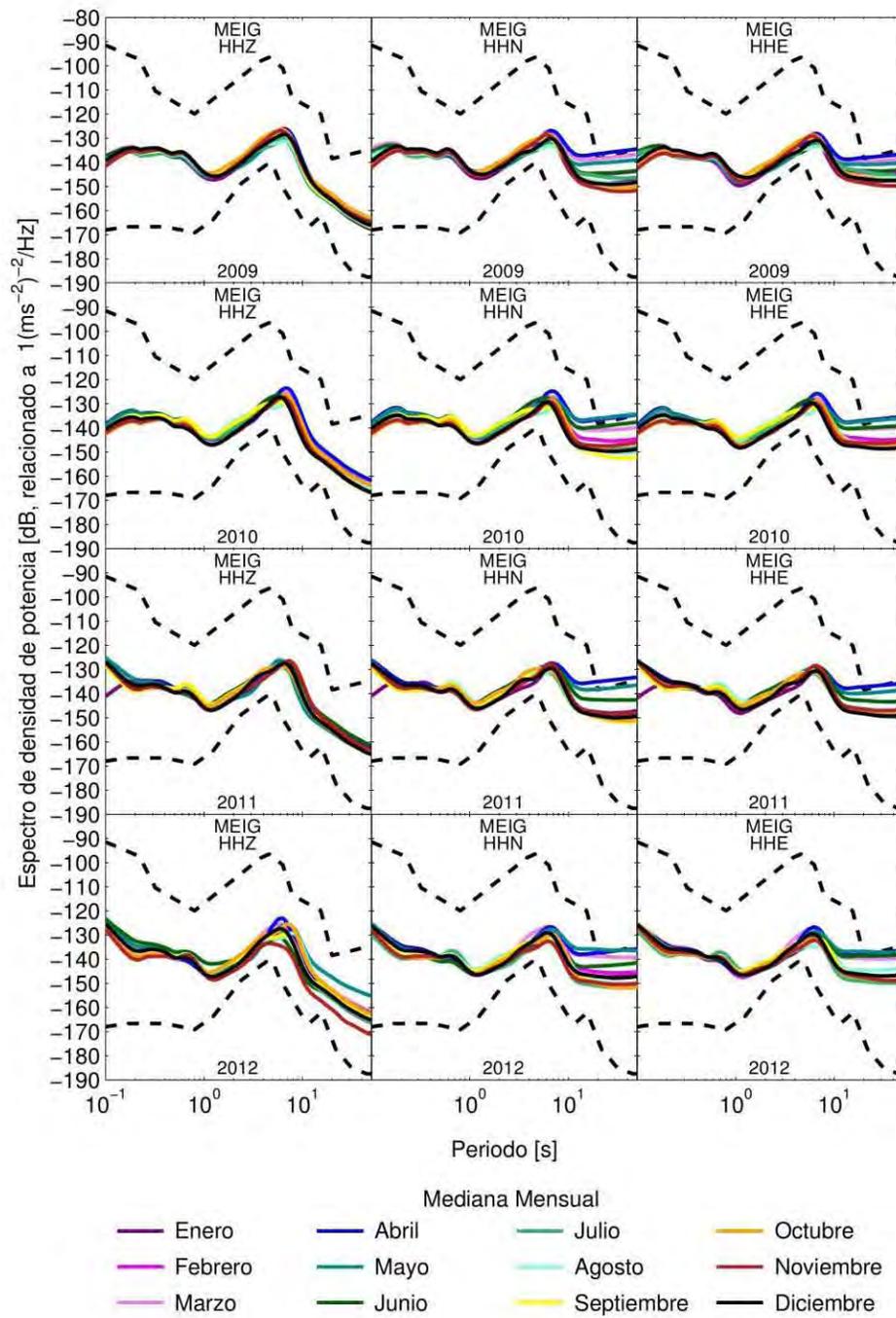


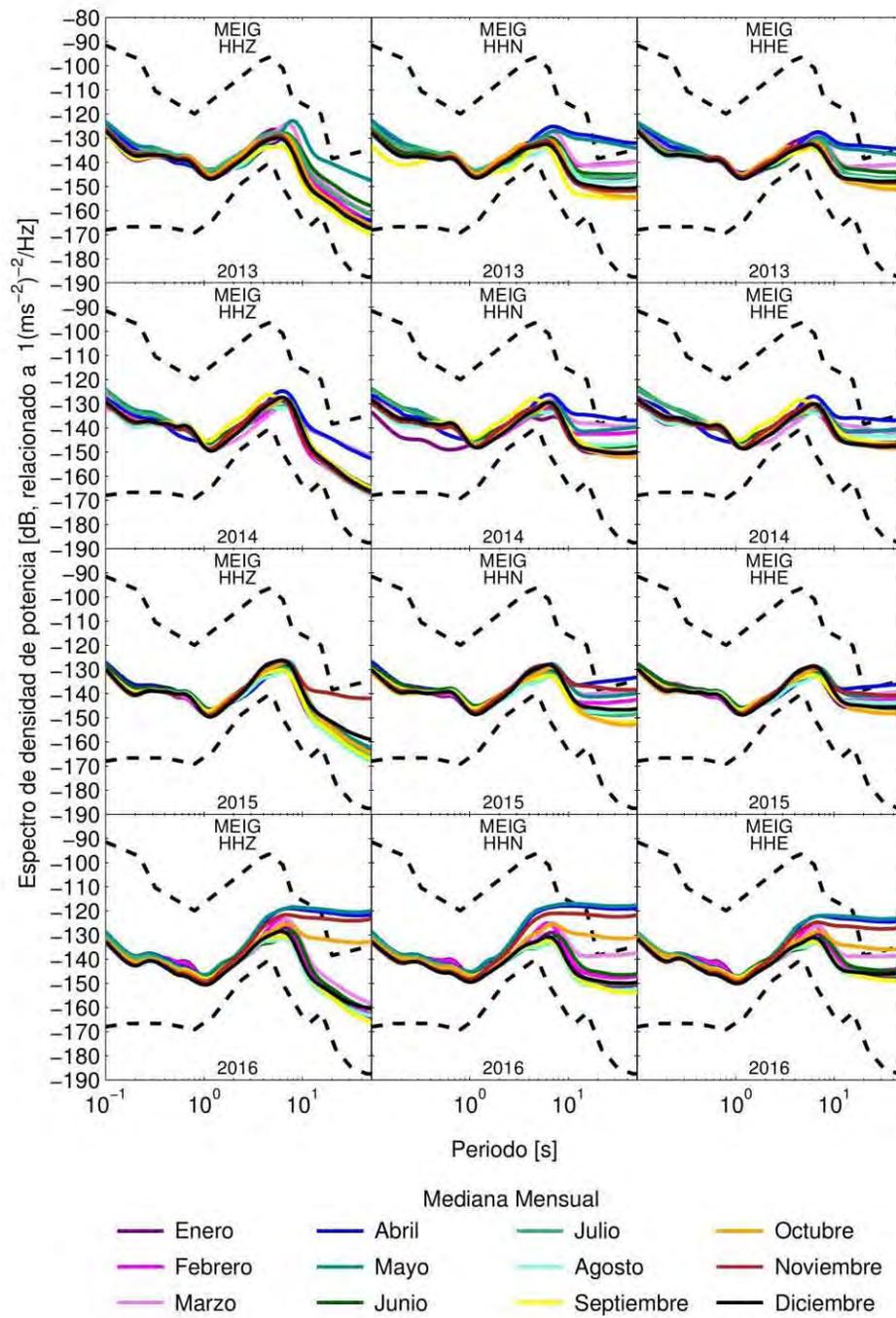


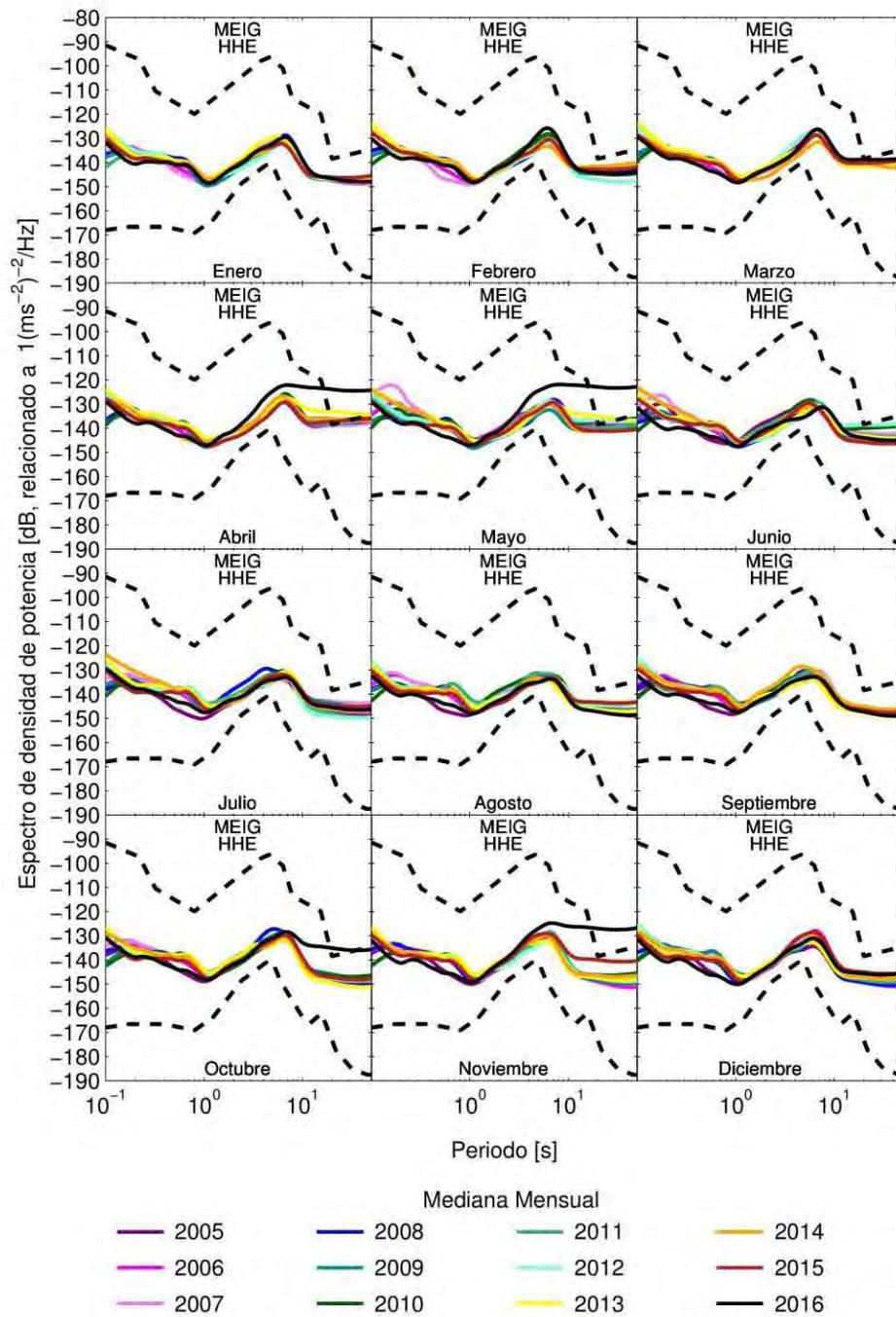


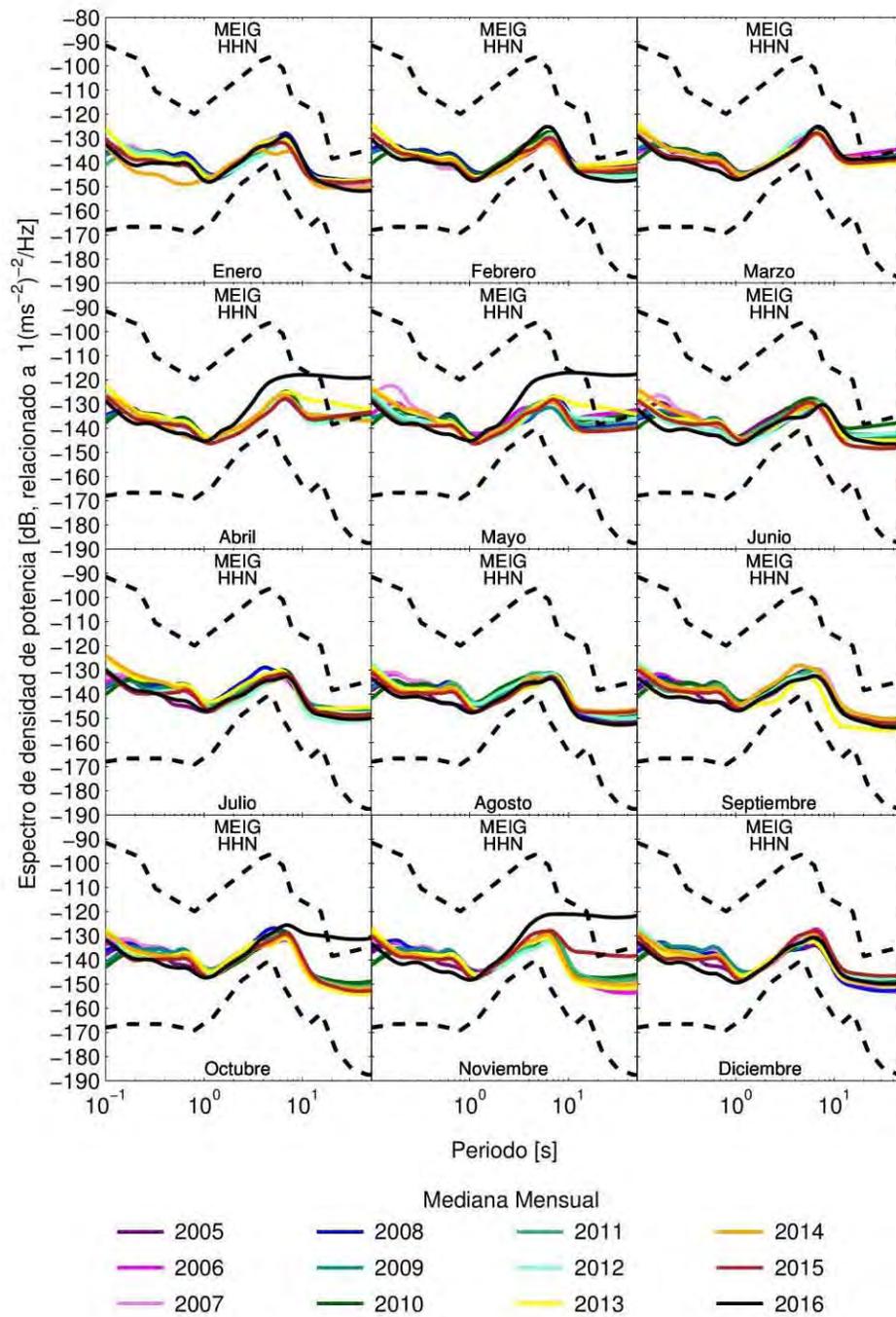


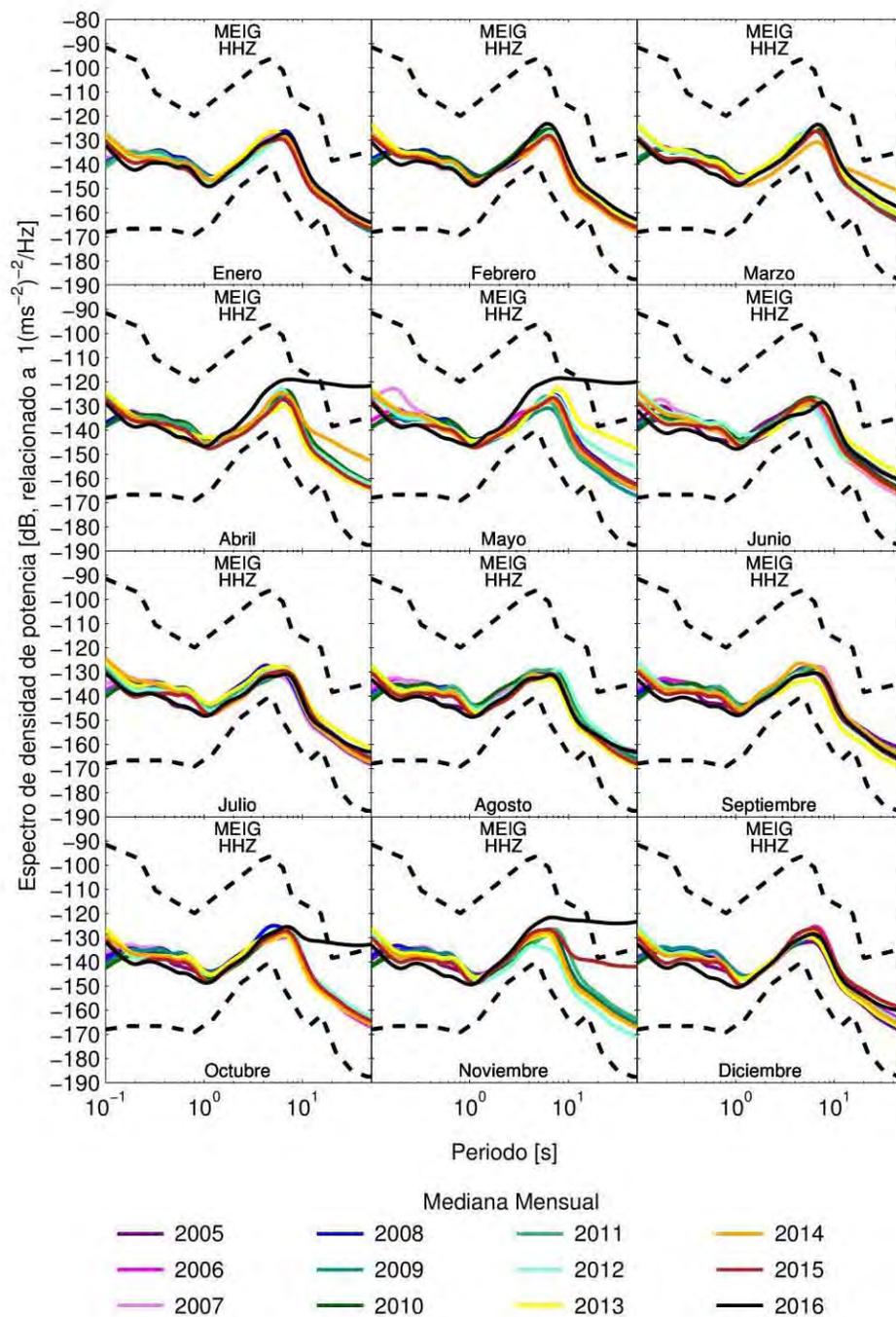


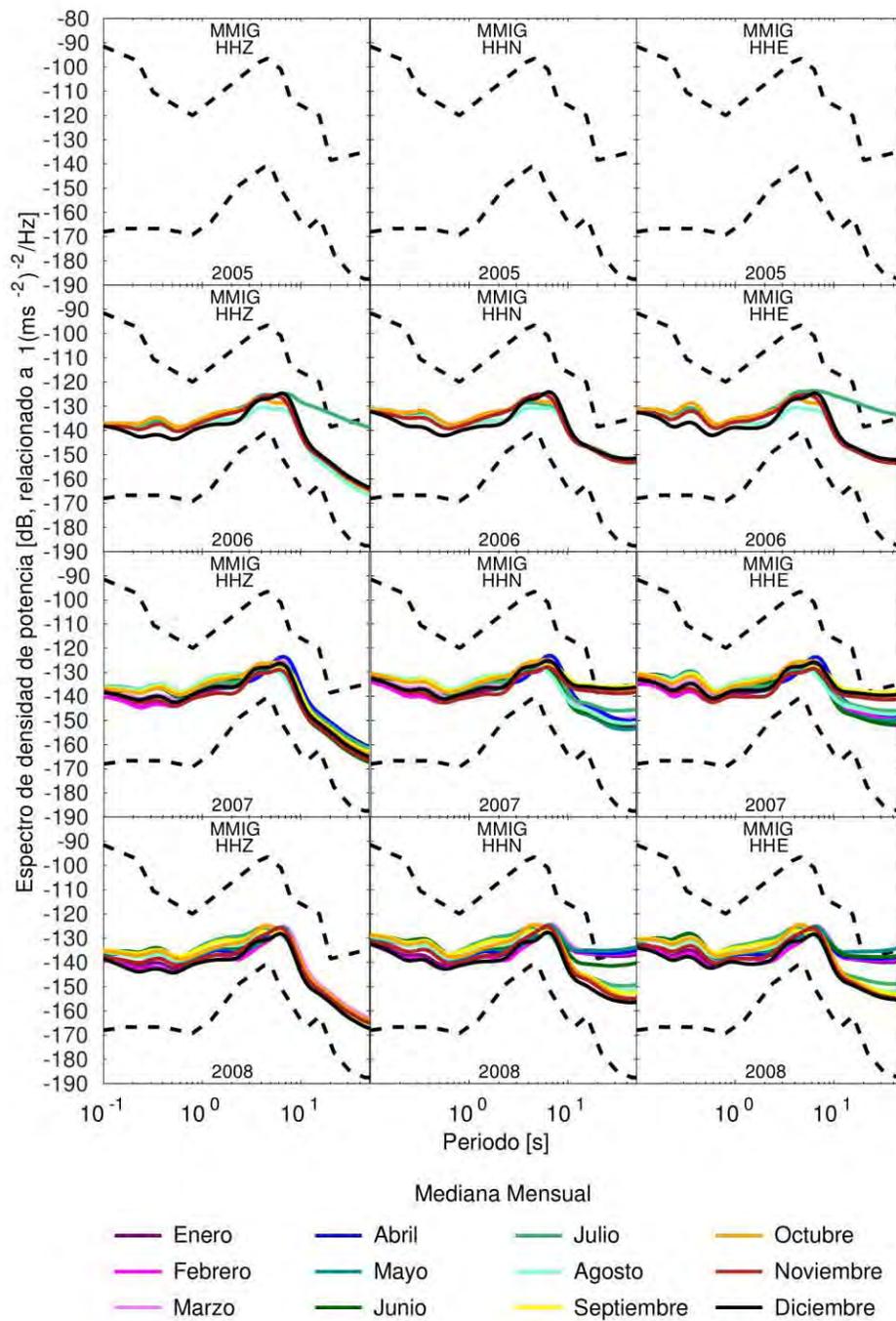


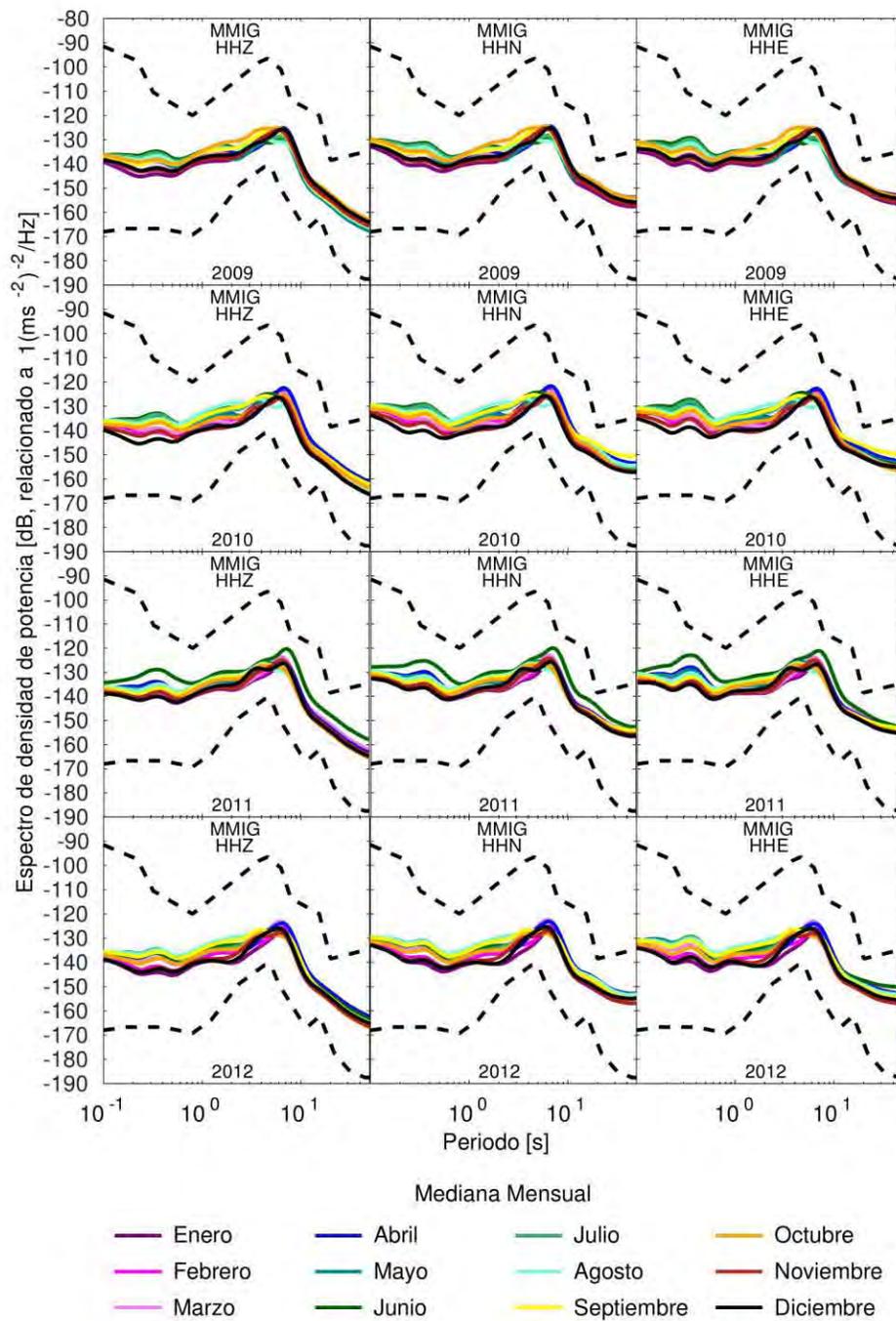


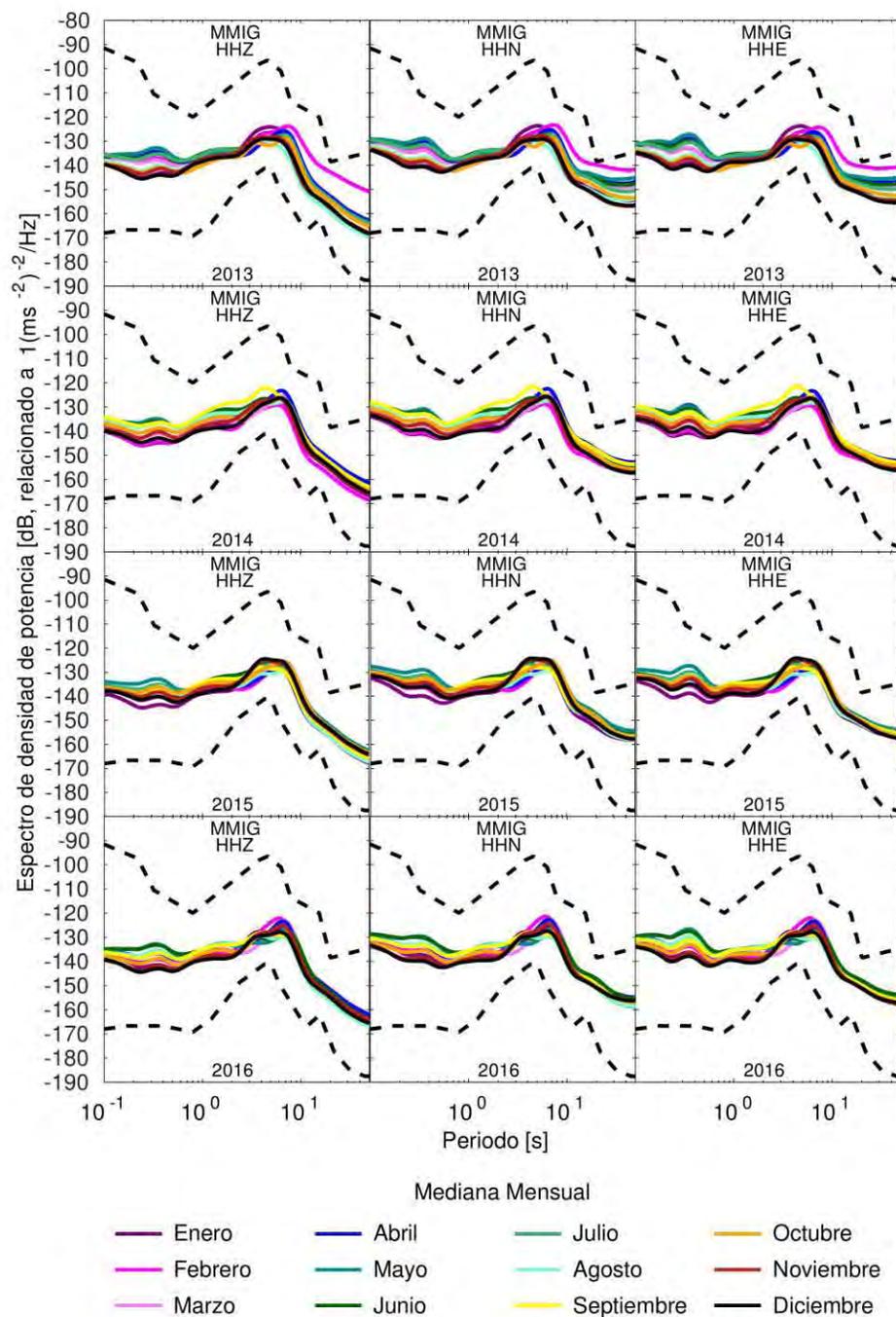


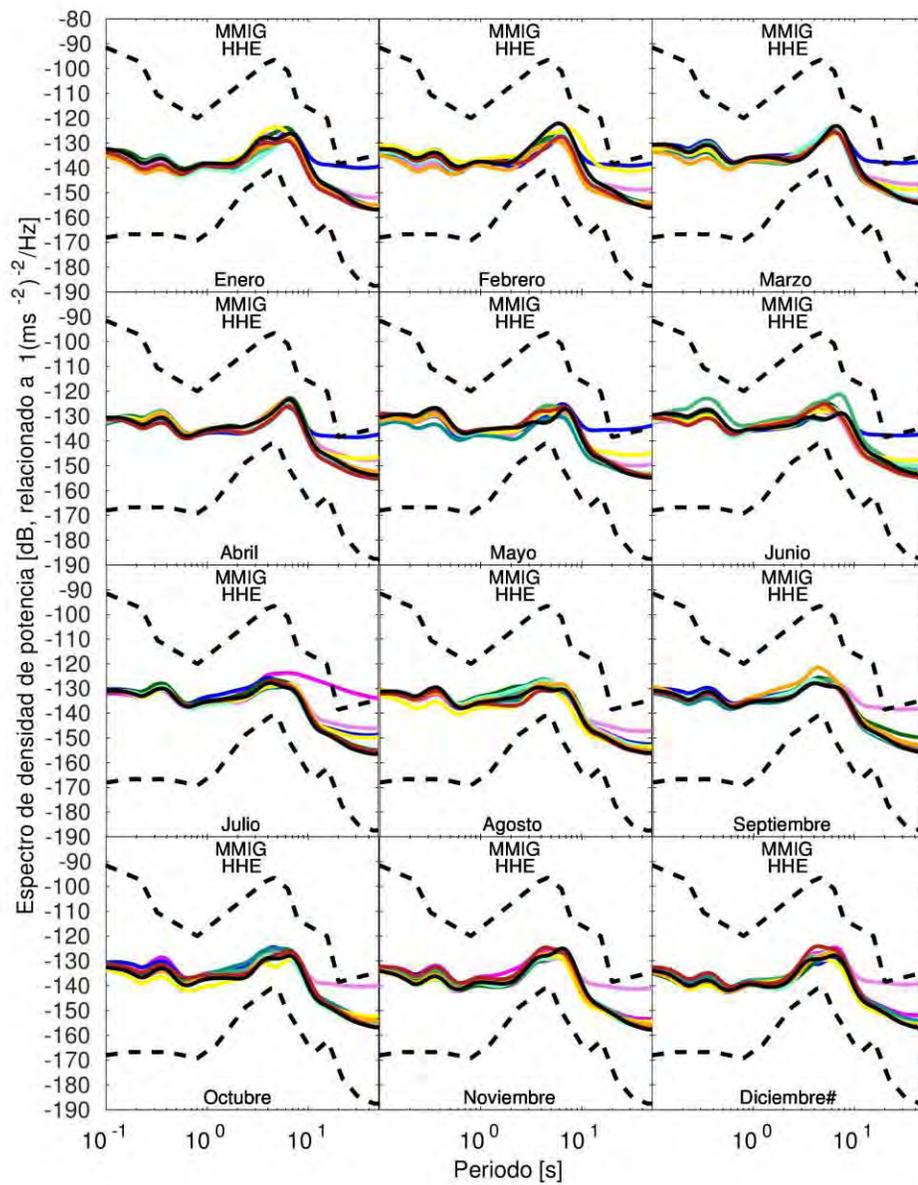






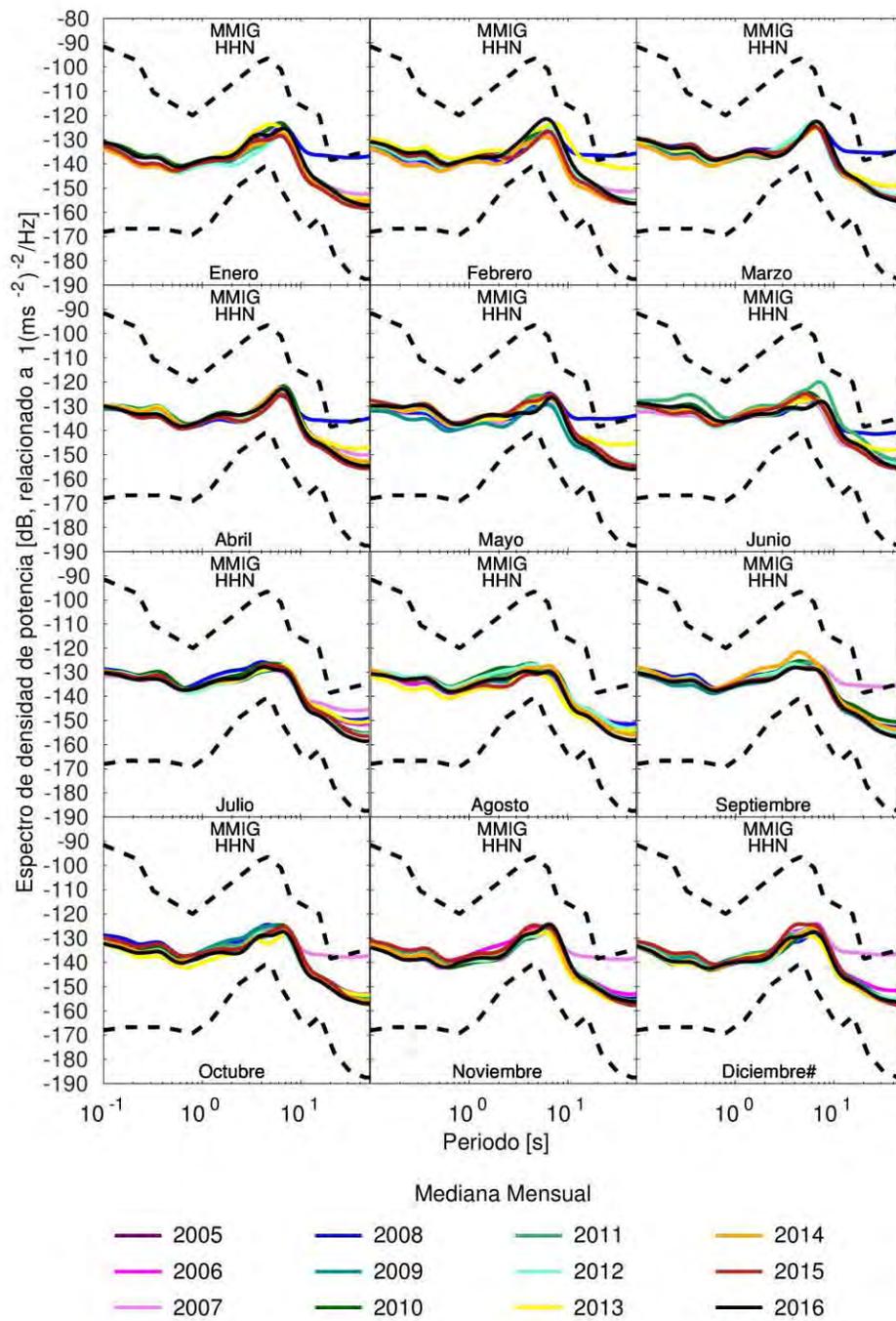


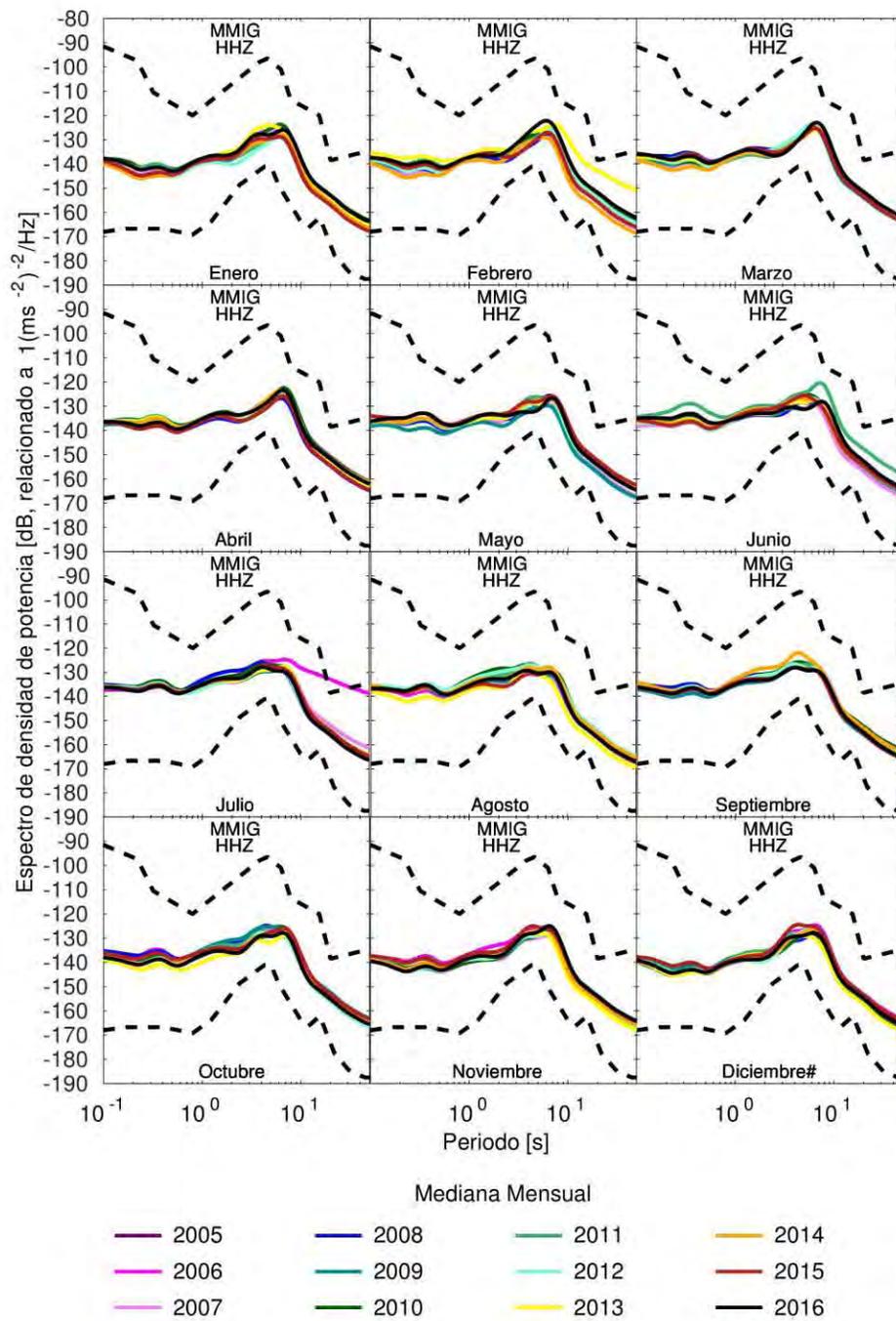


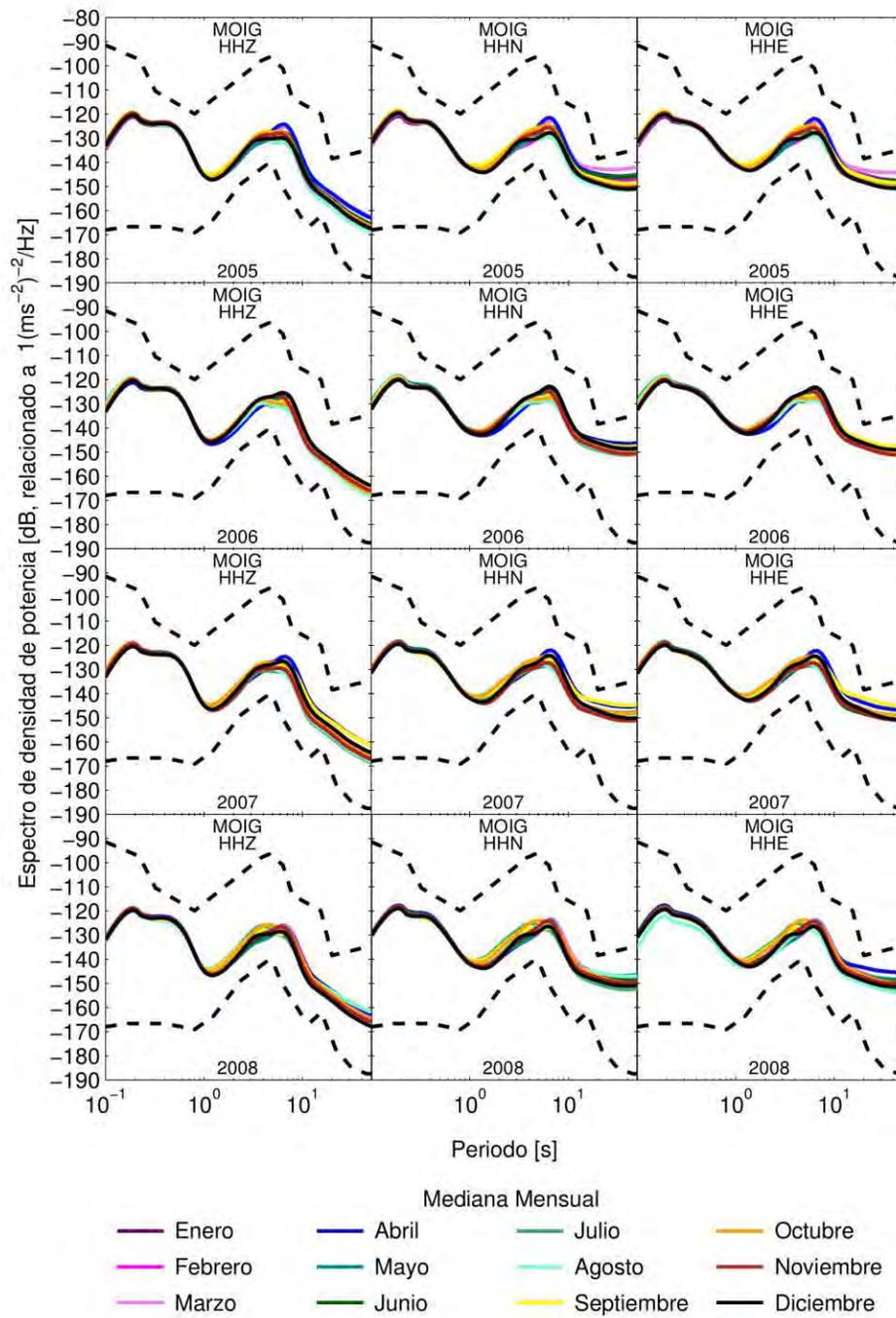


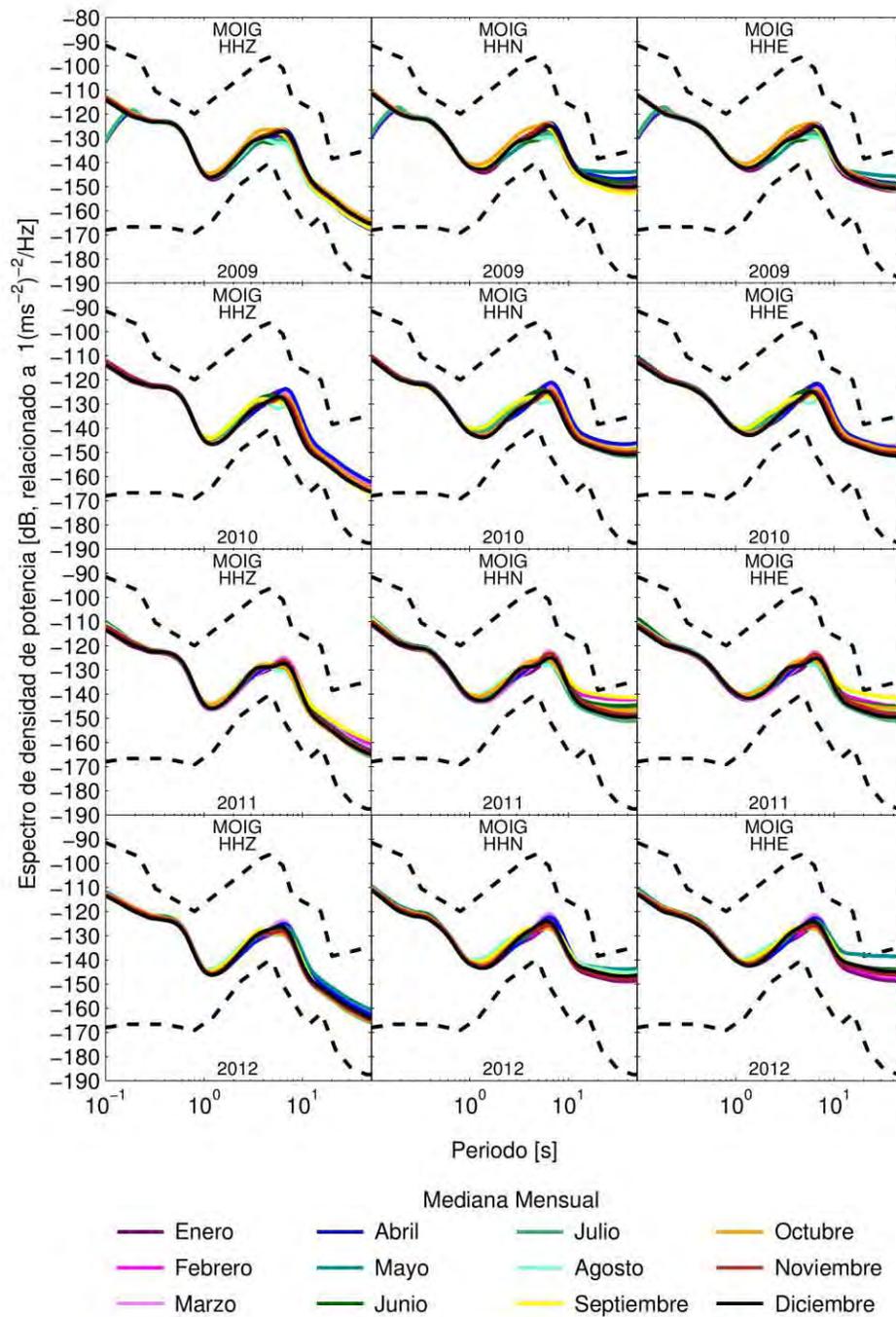
Mediana Mensual

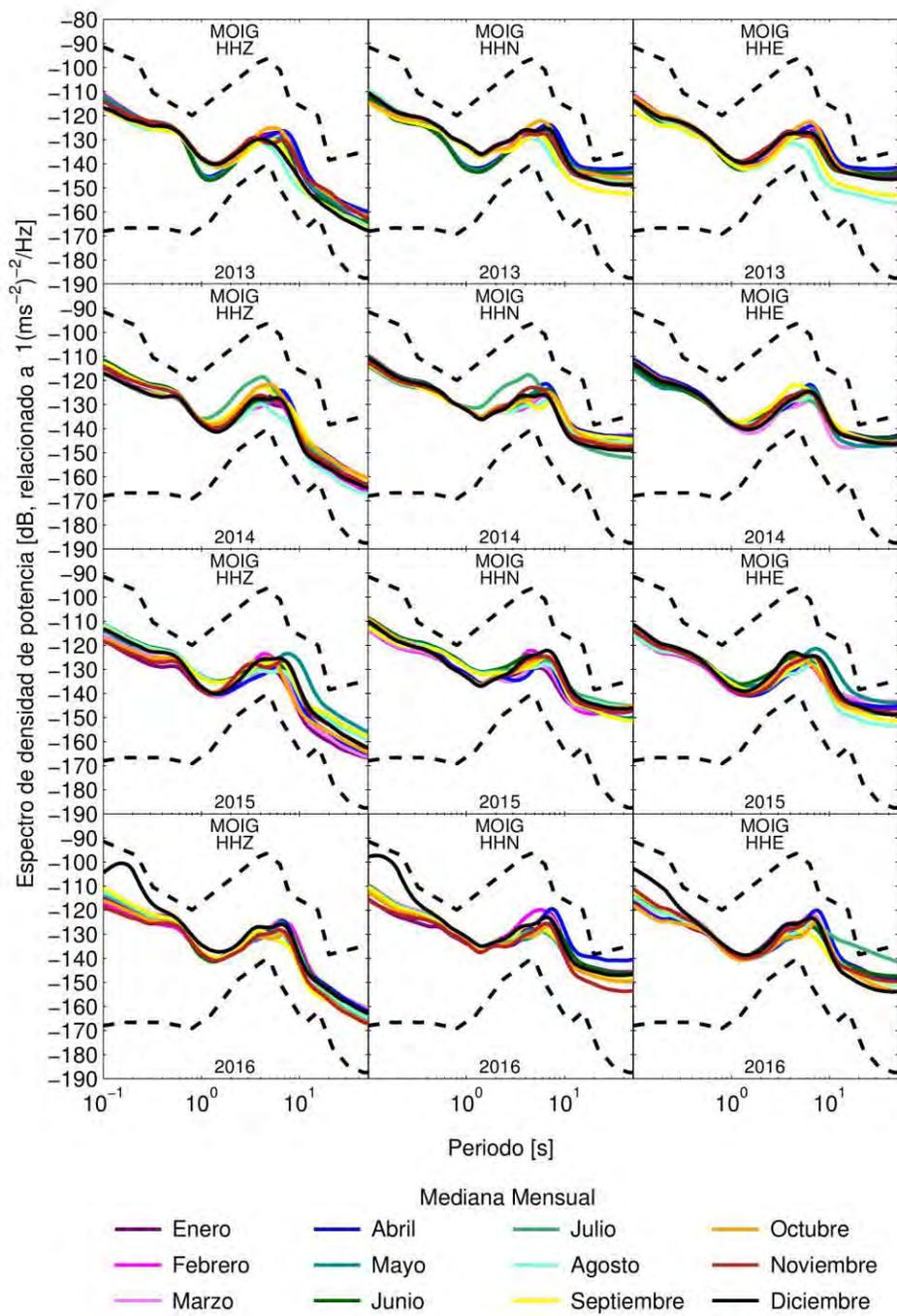


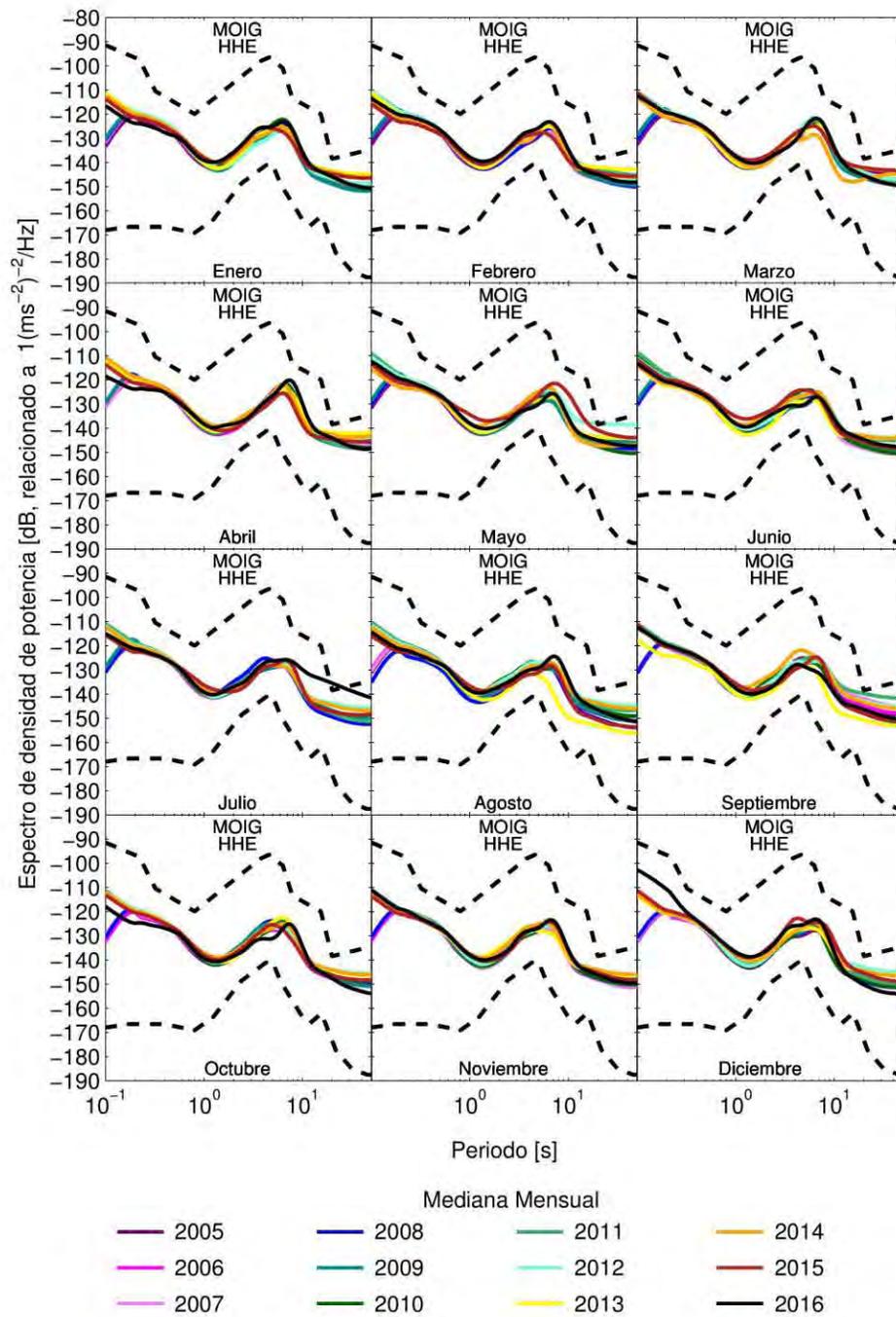


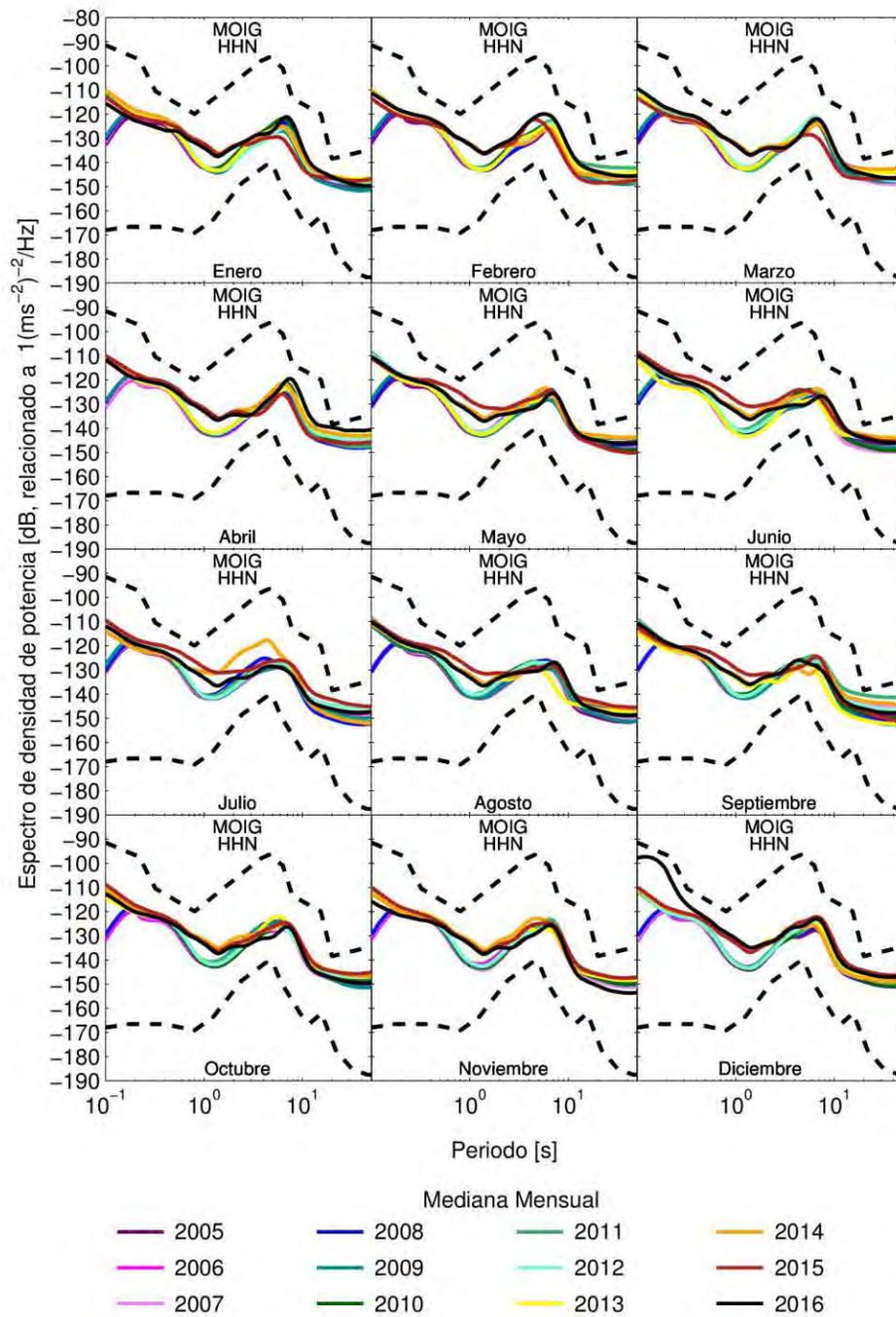


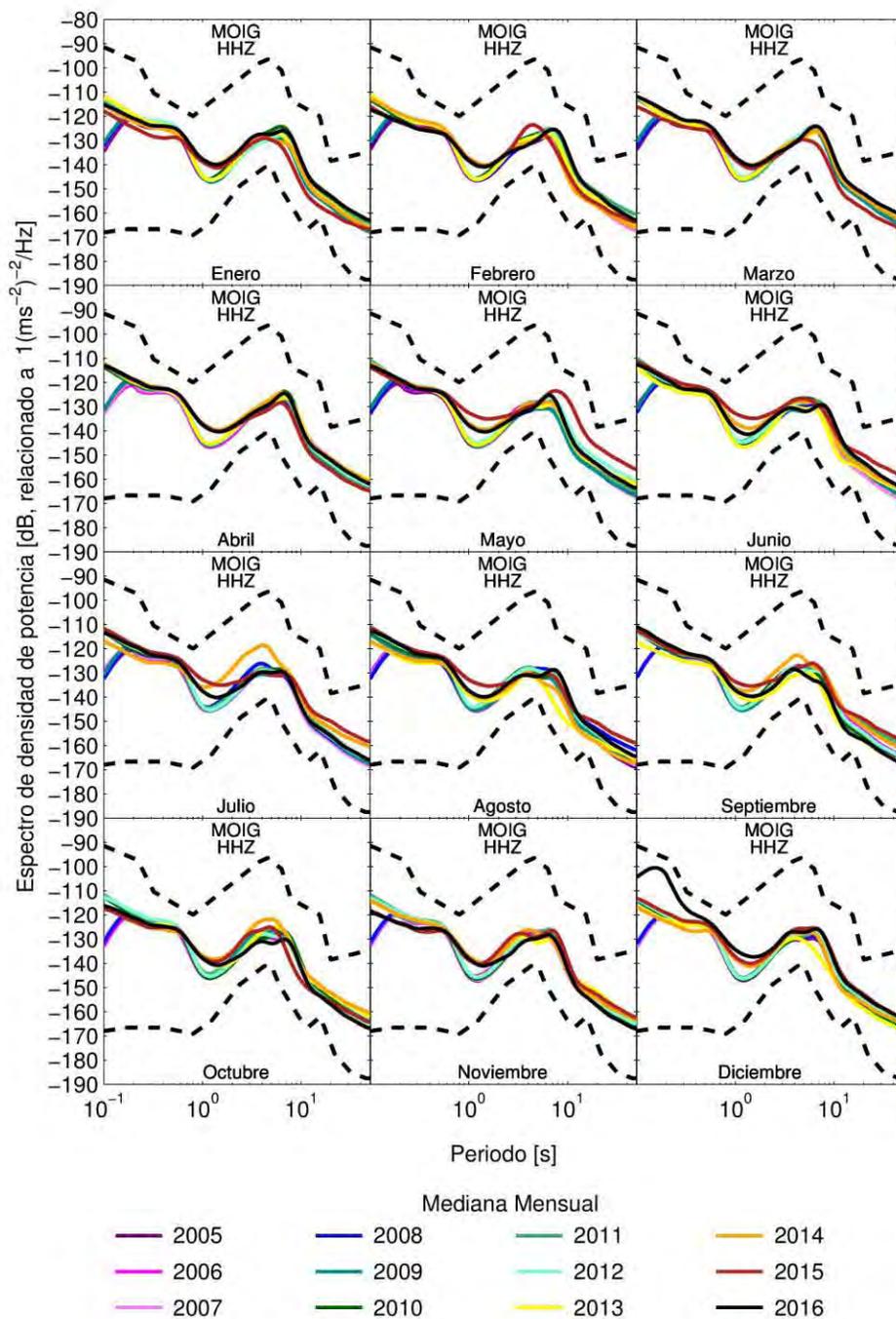


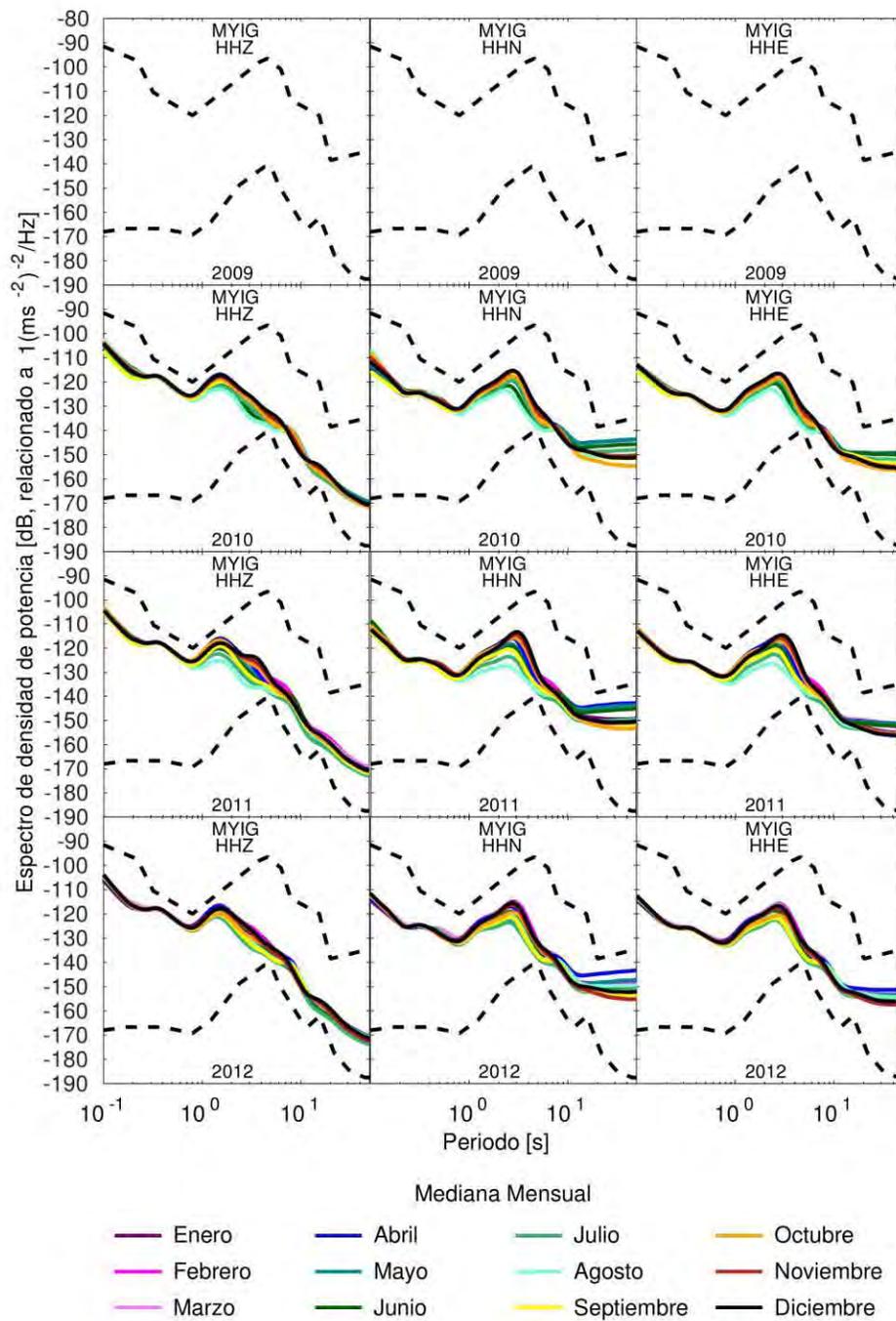


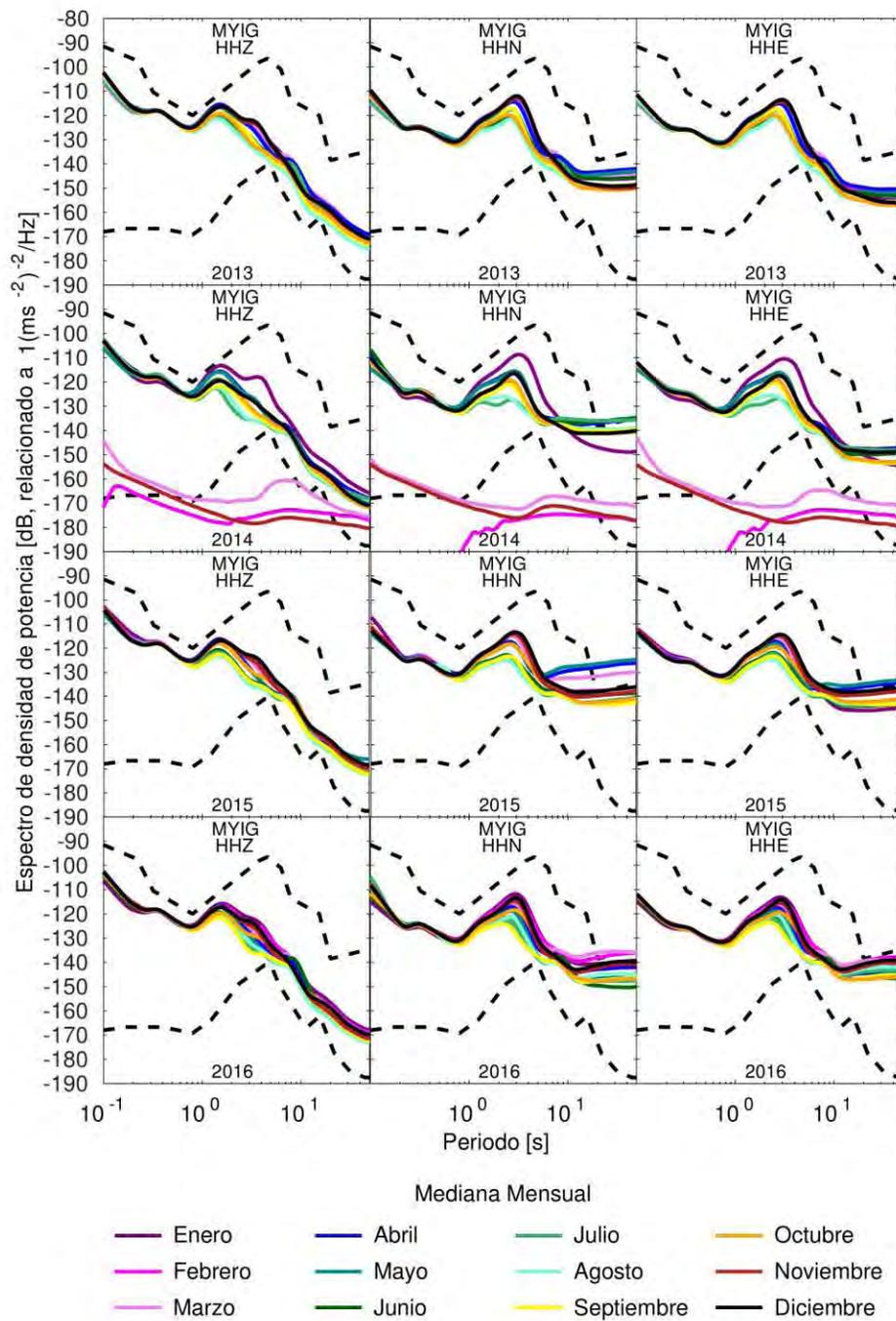


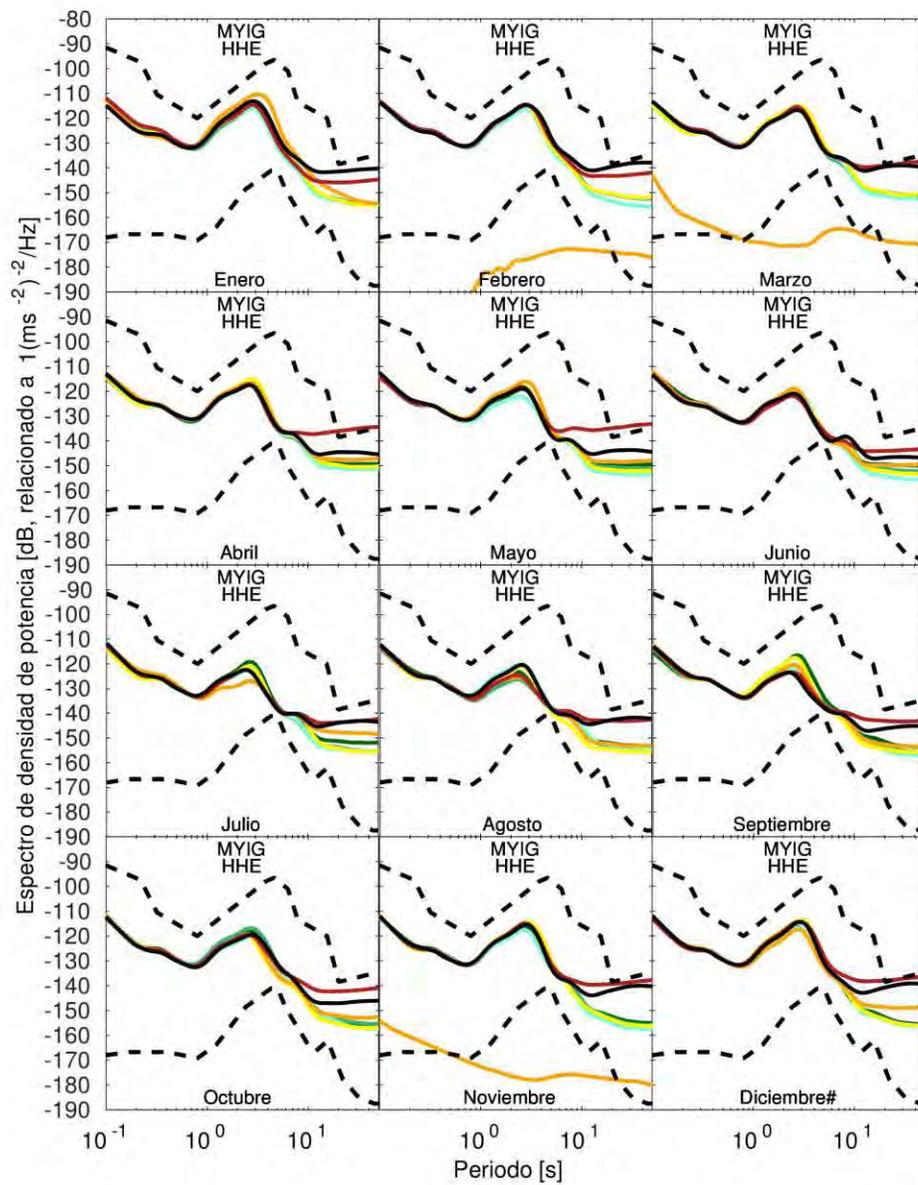






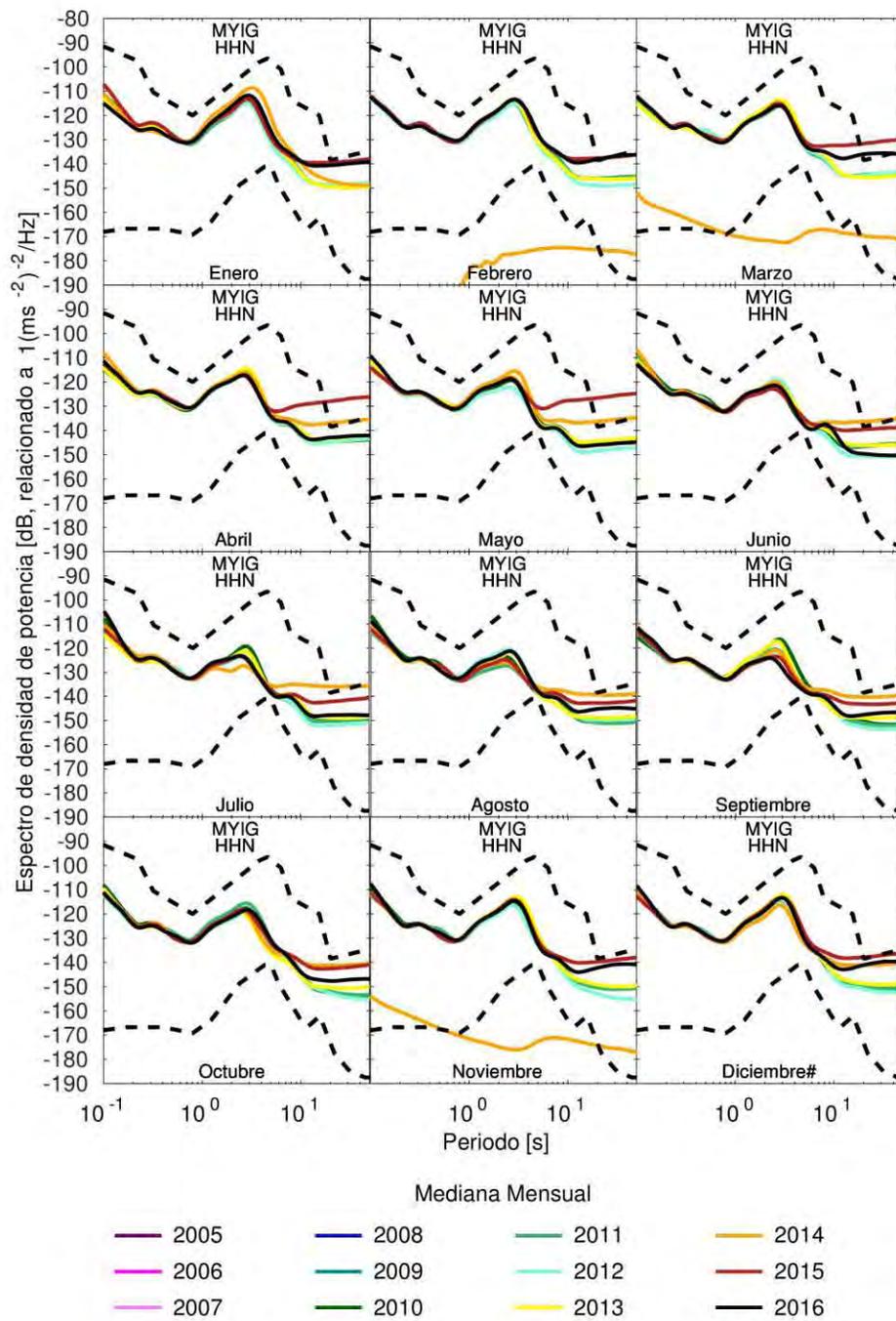


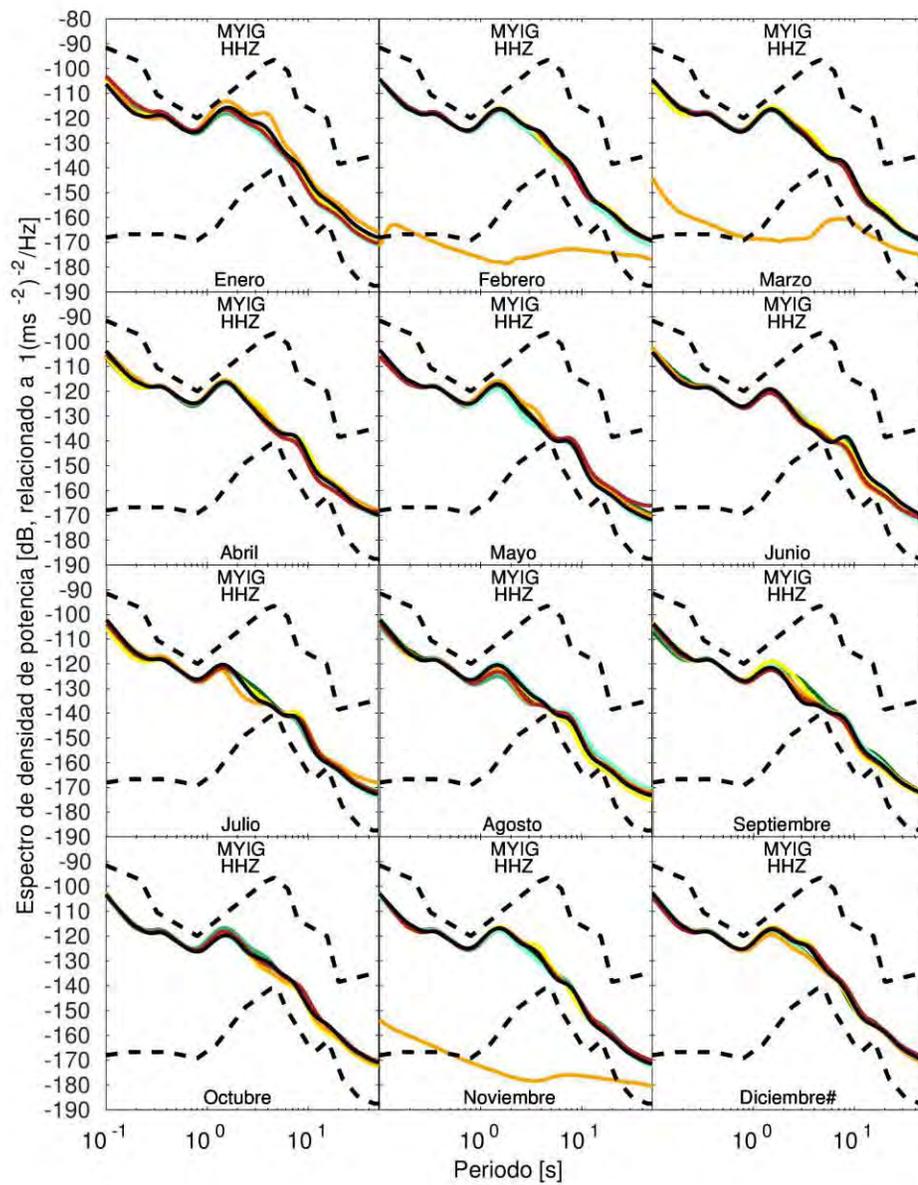




Mediana Mensual

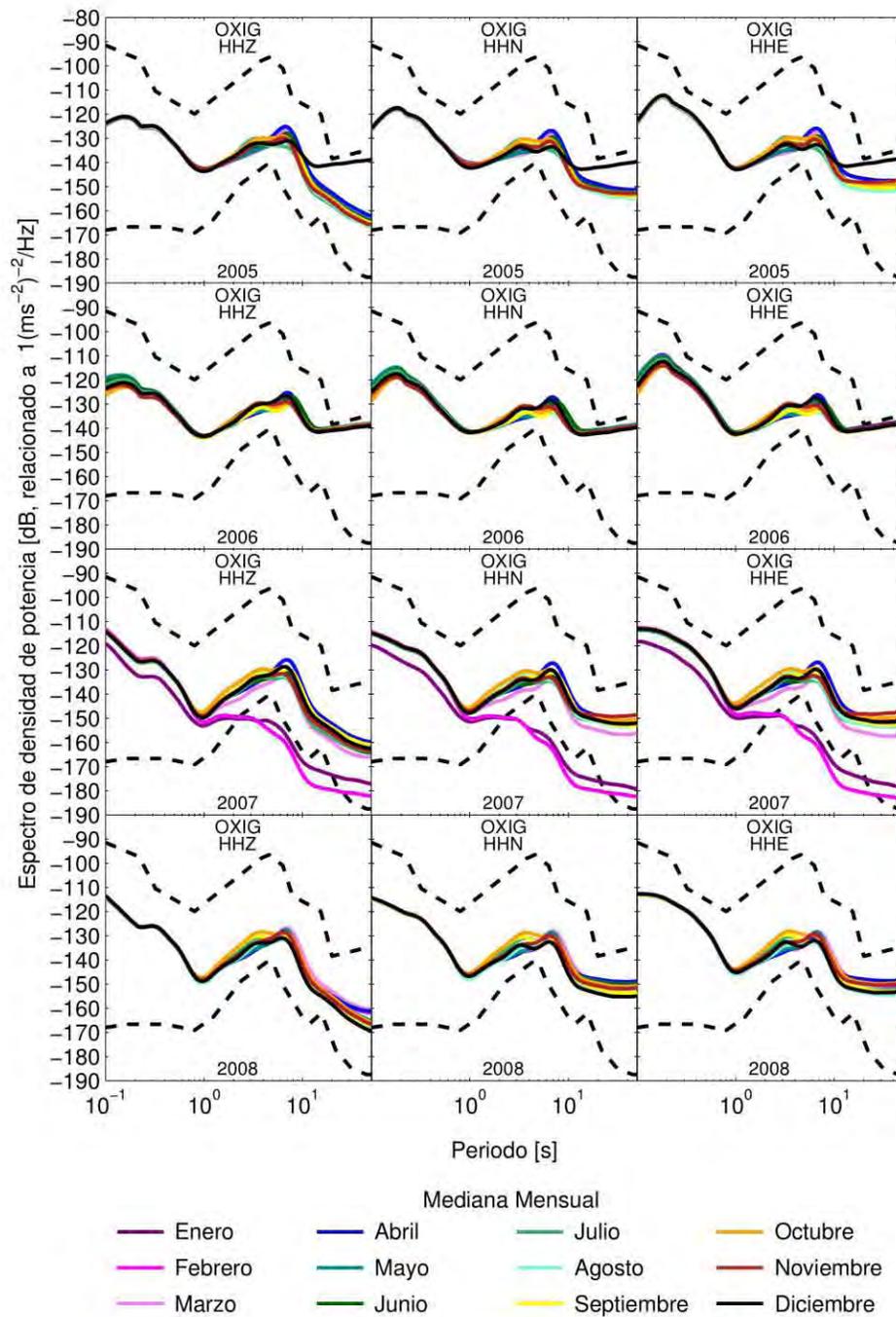


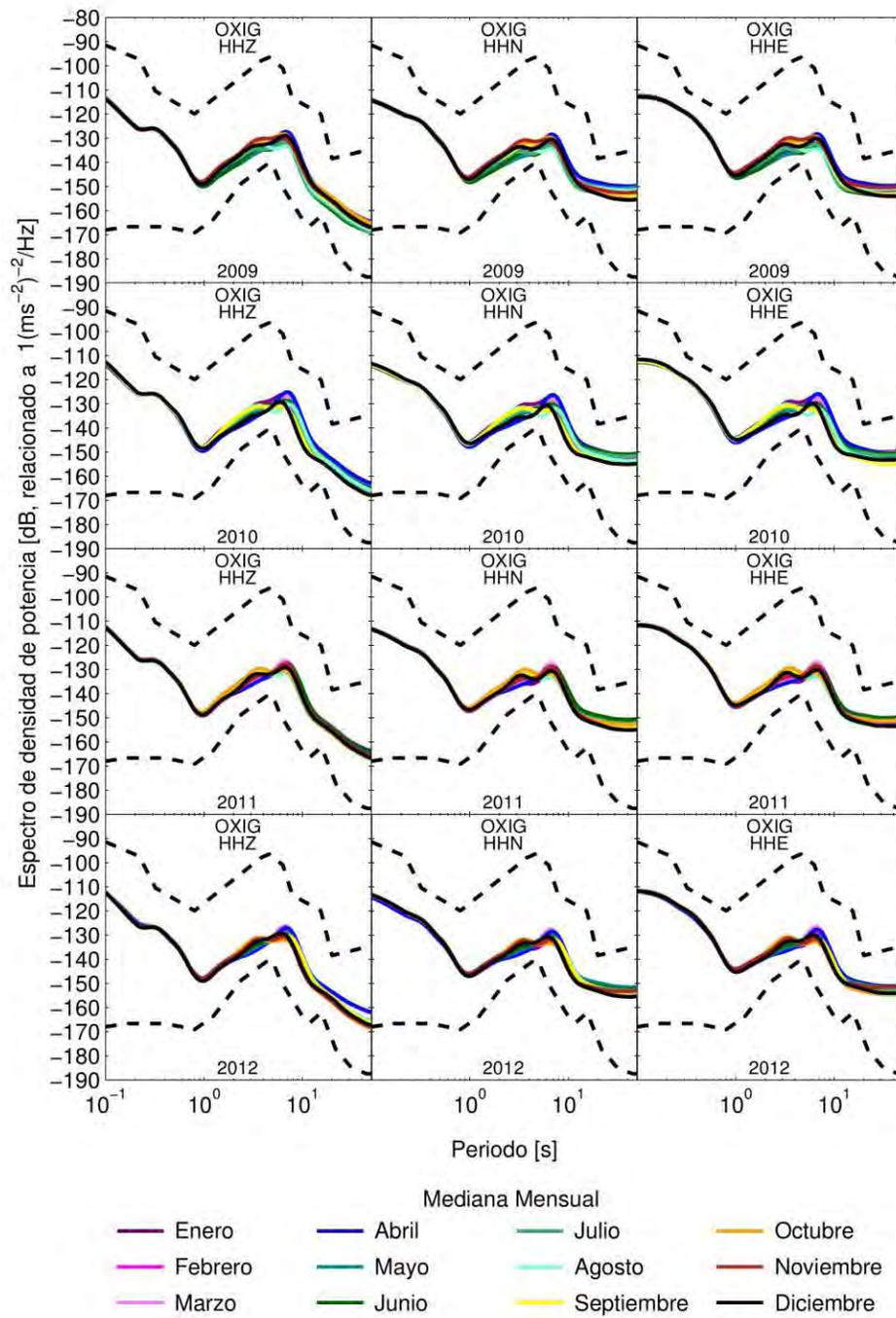


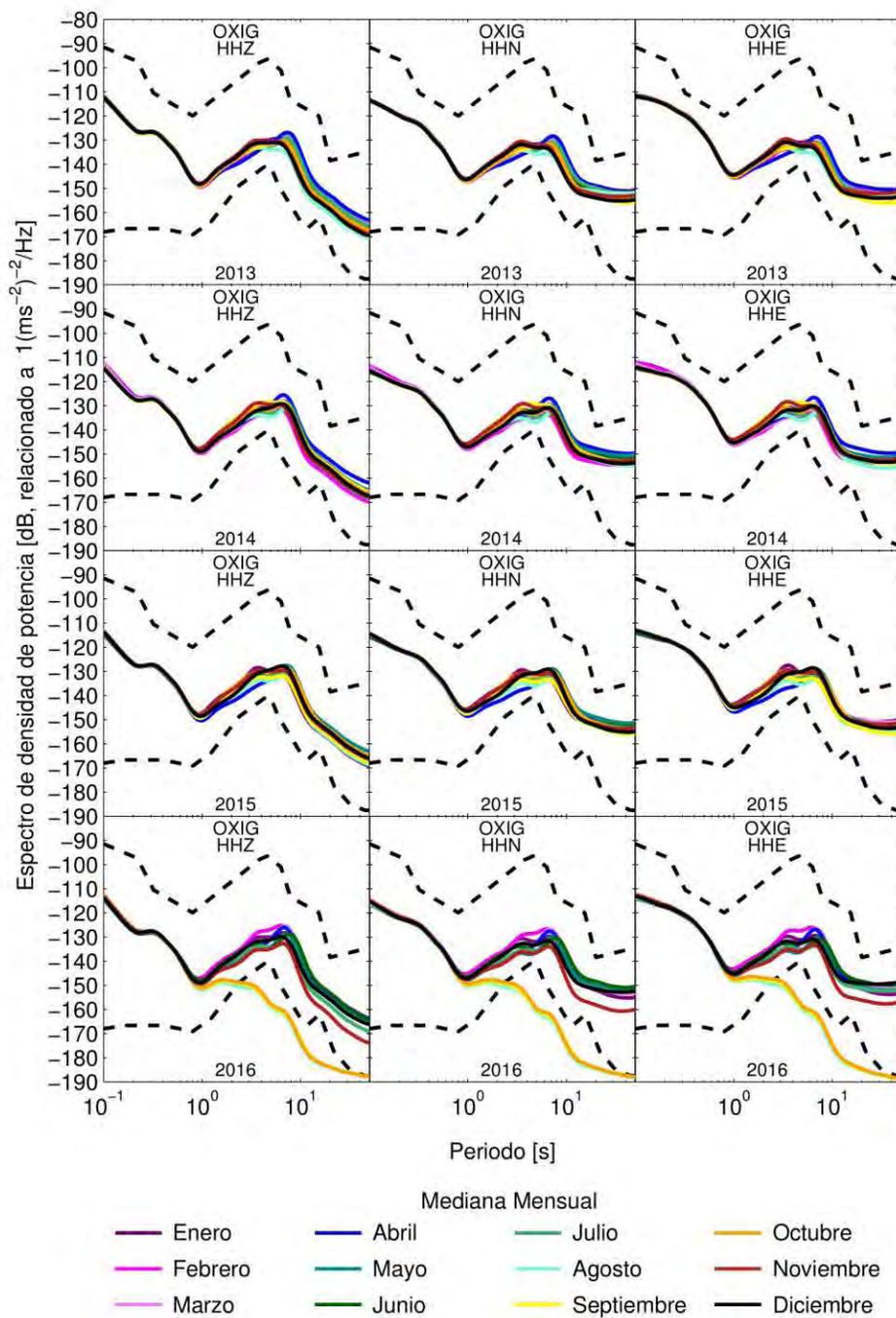


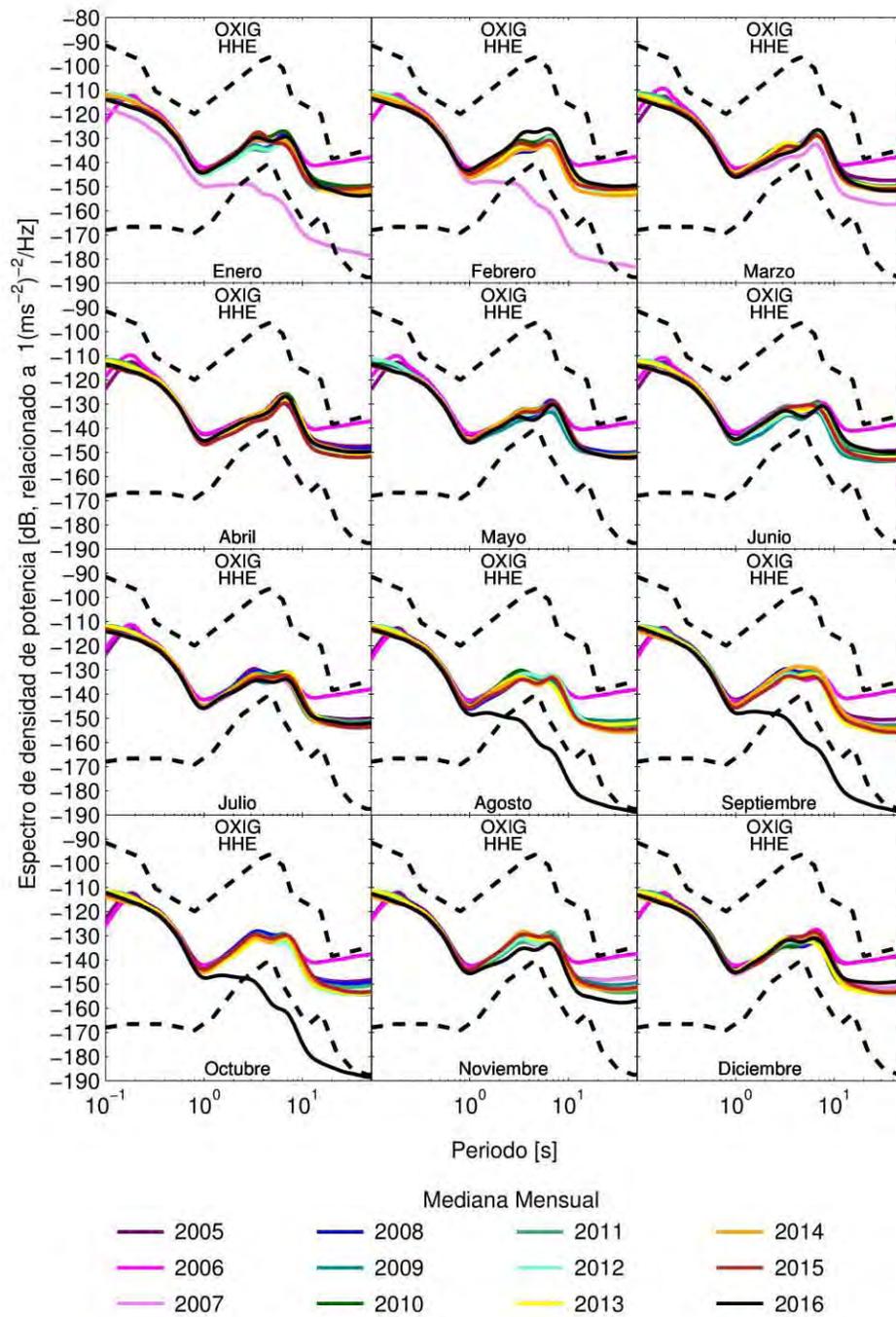
Mediana Mensual

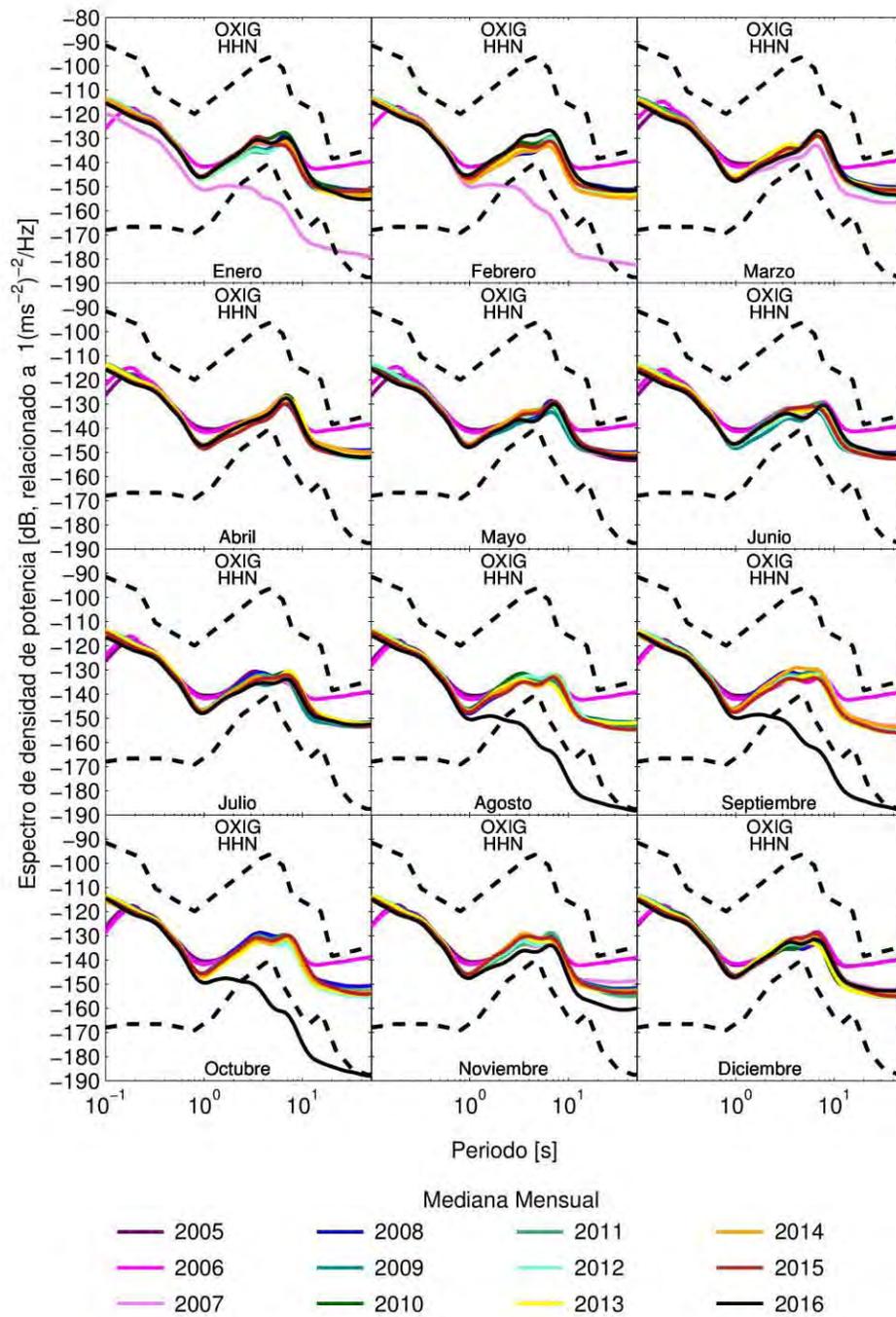


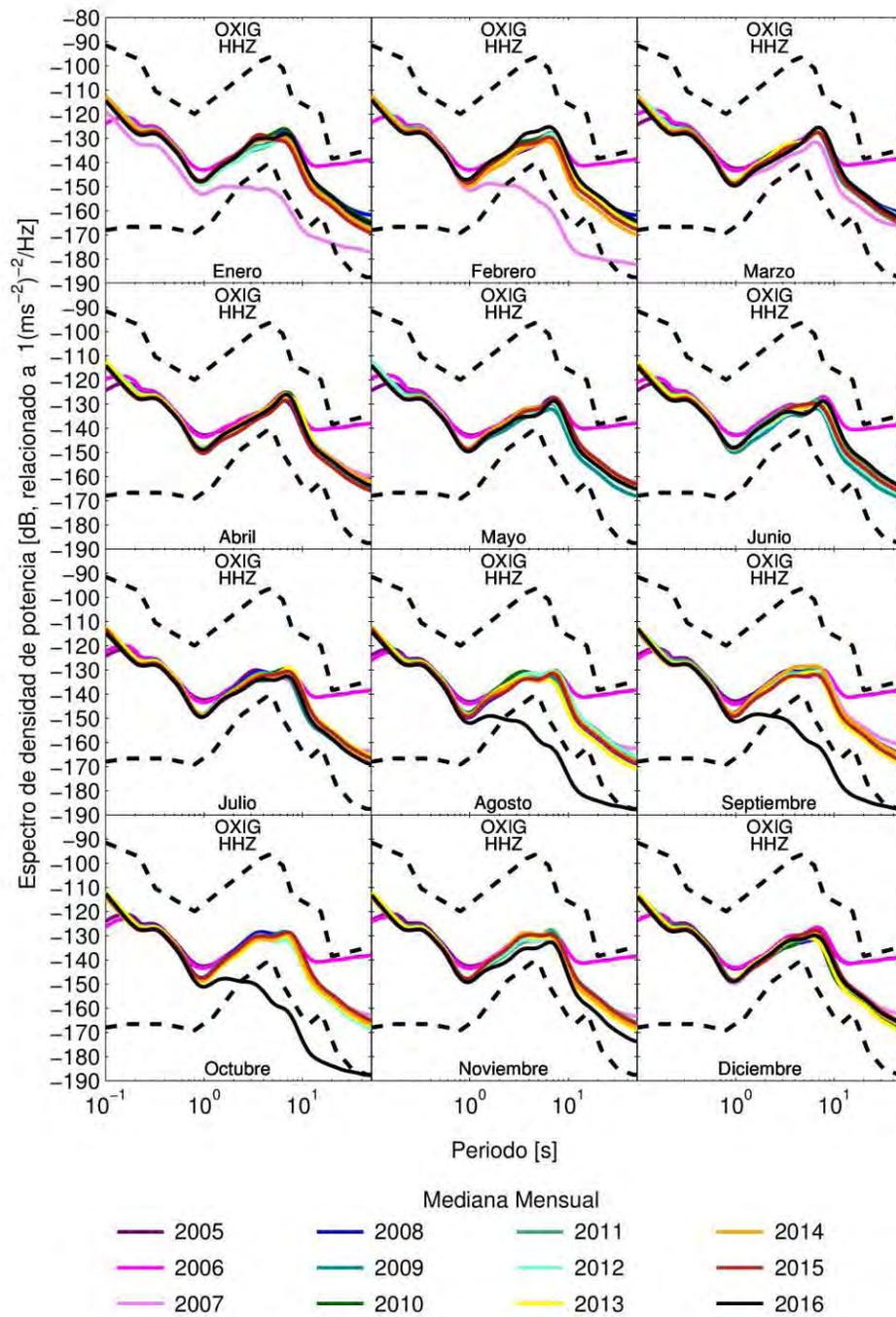


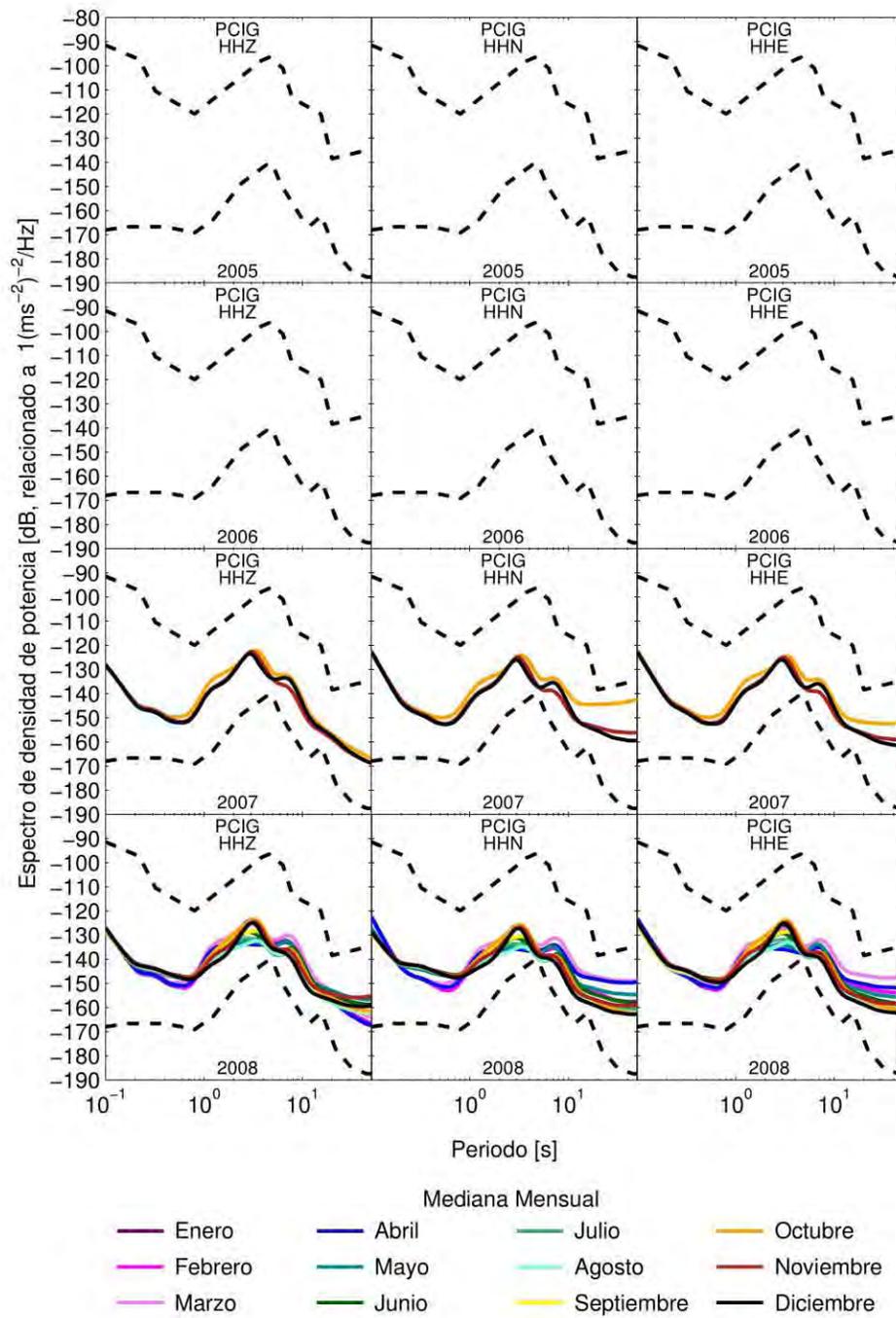


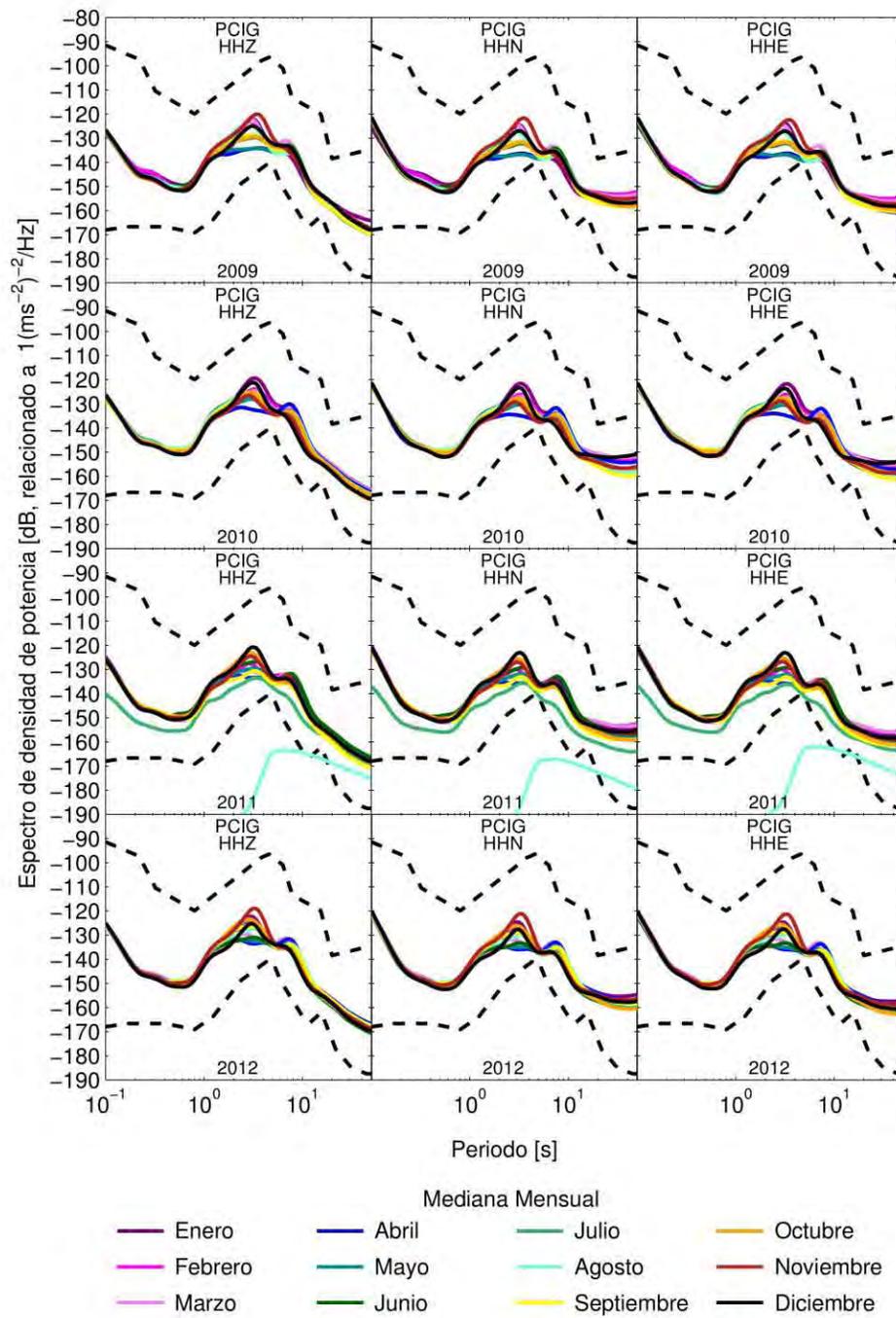


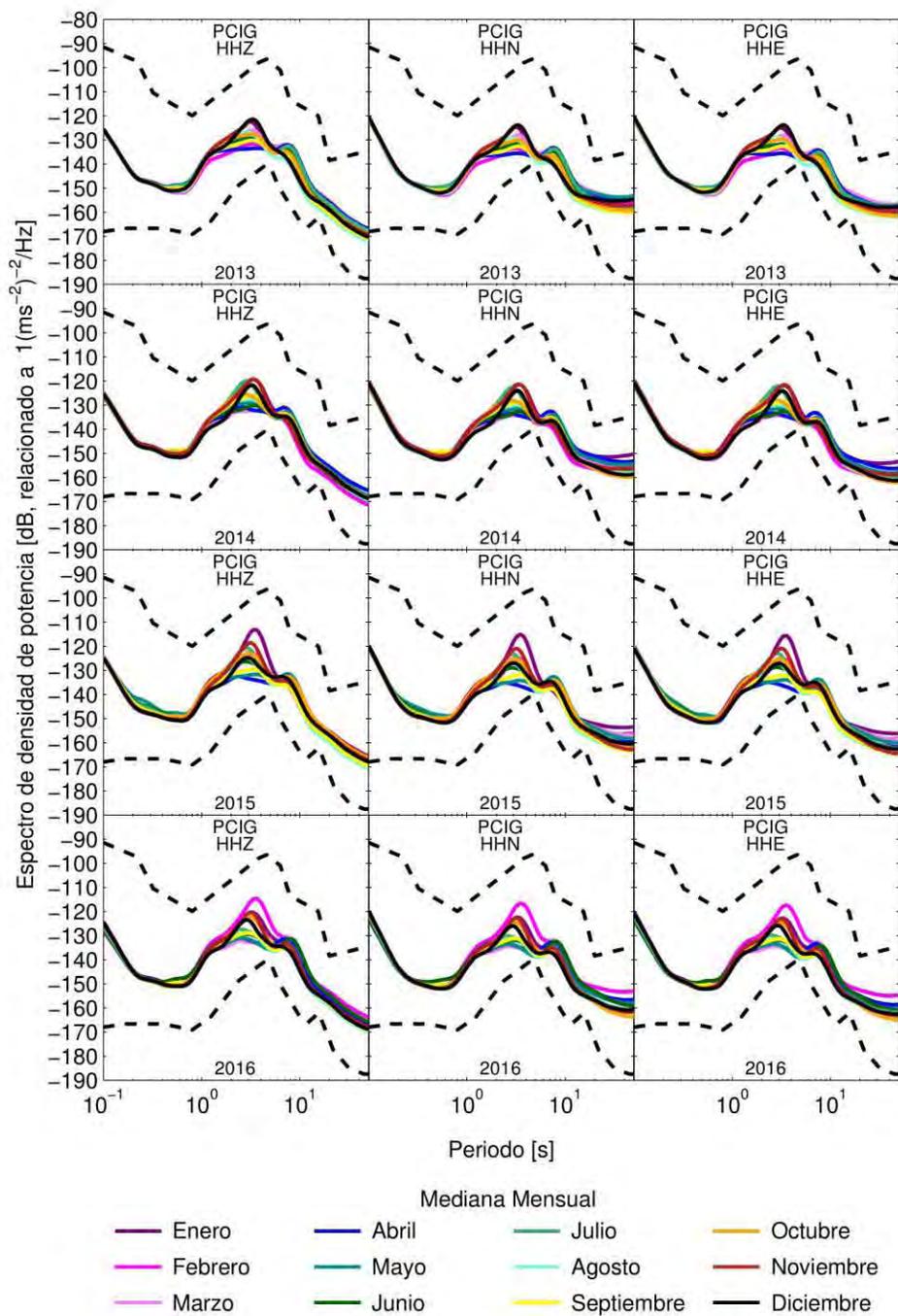


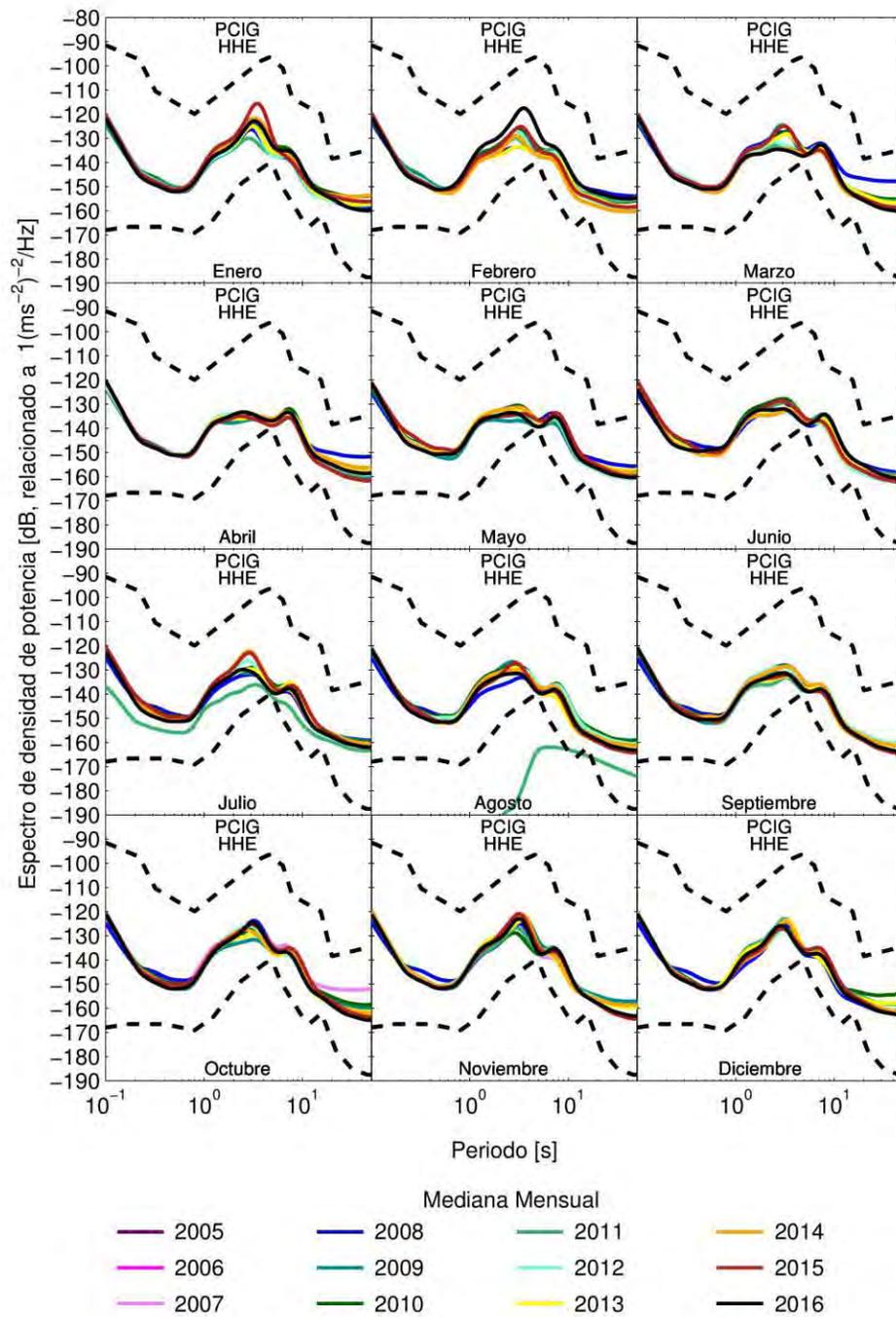


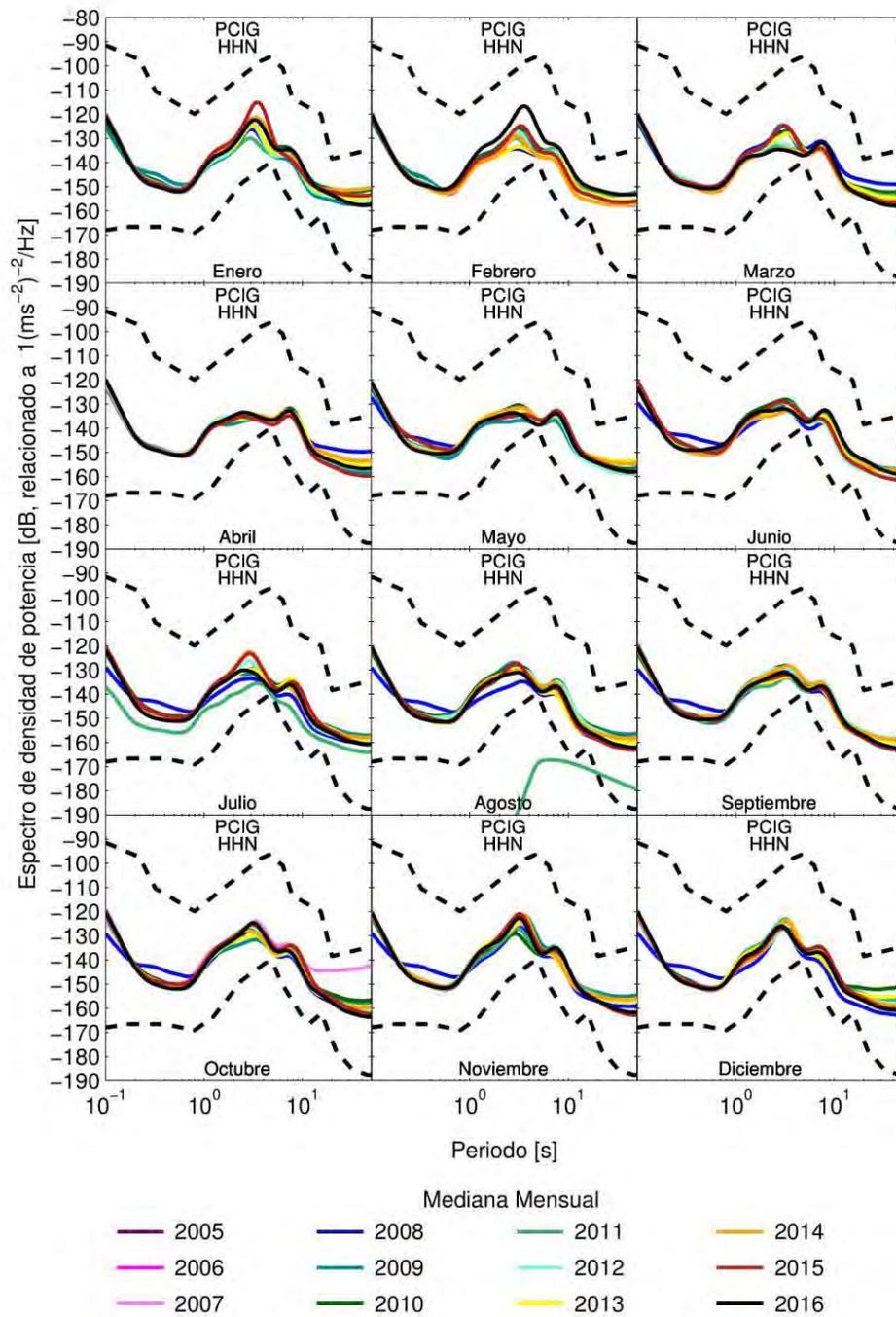


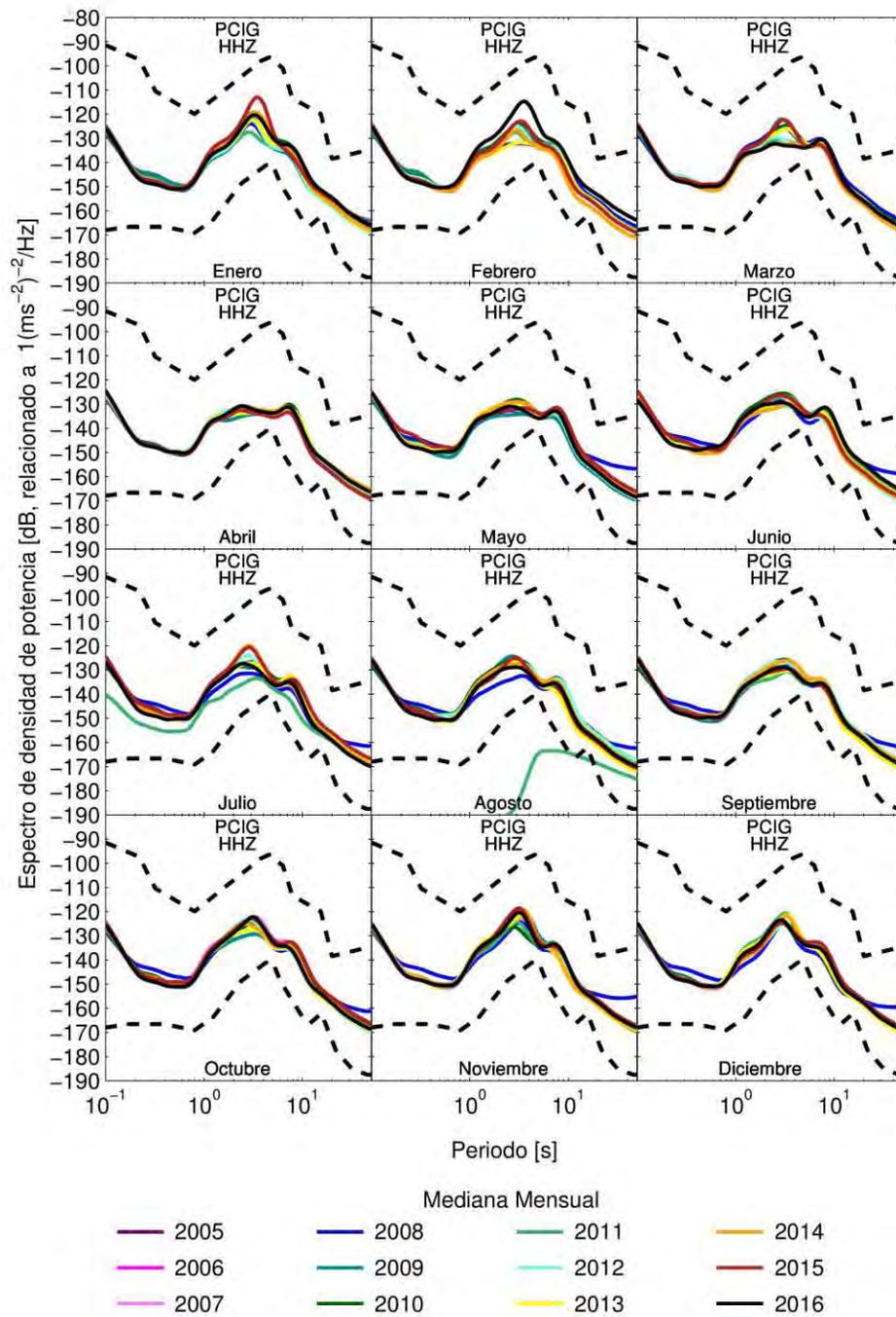


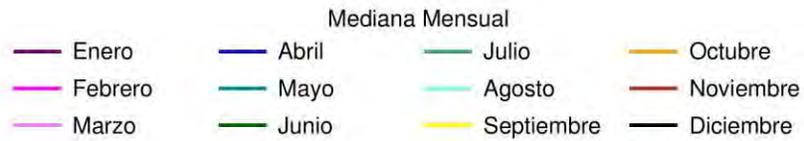
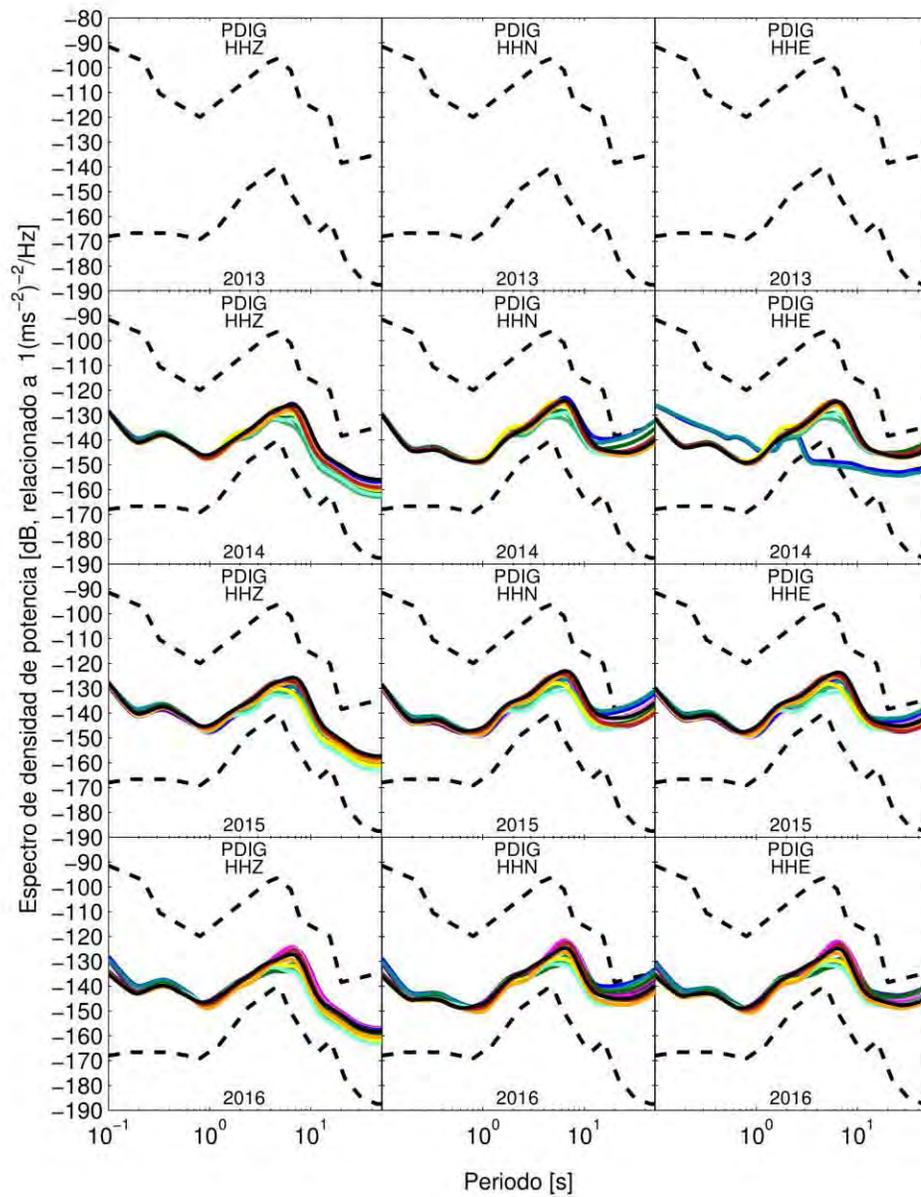


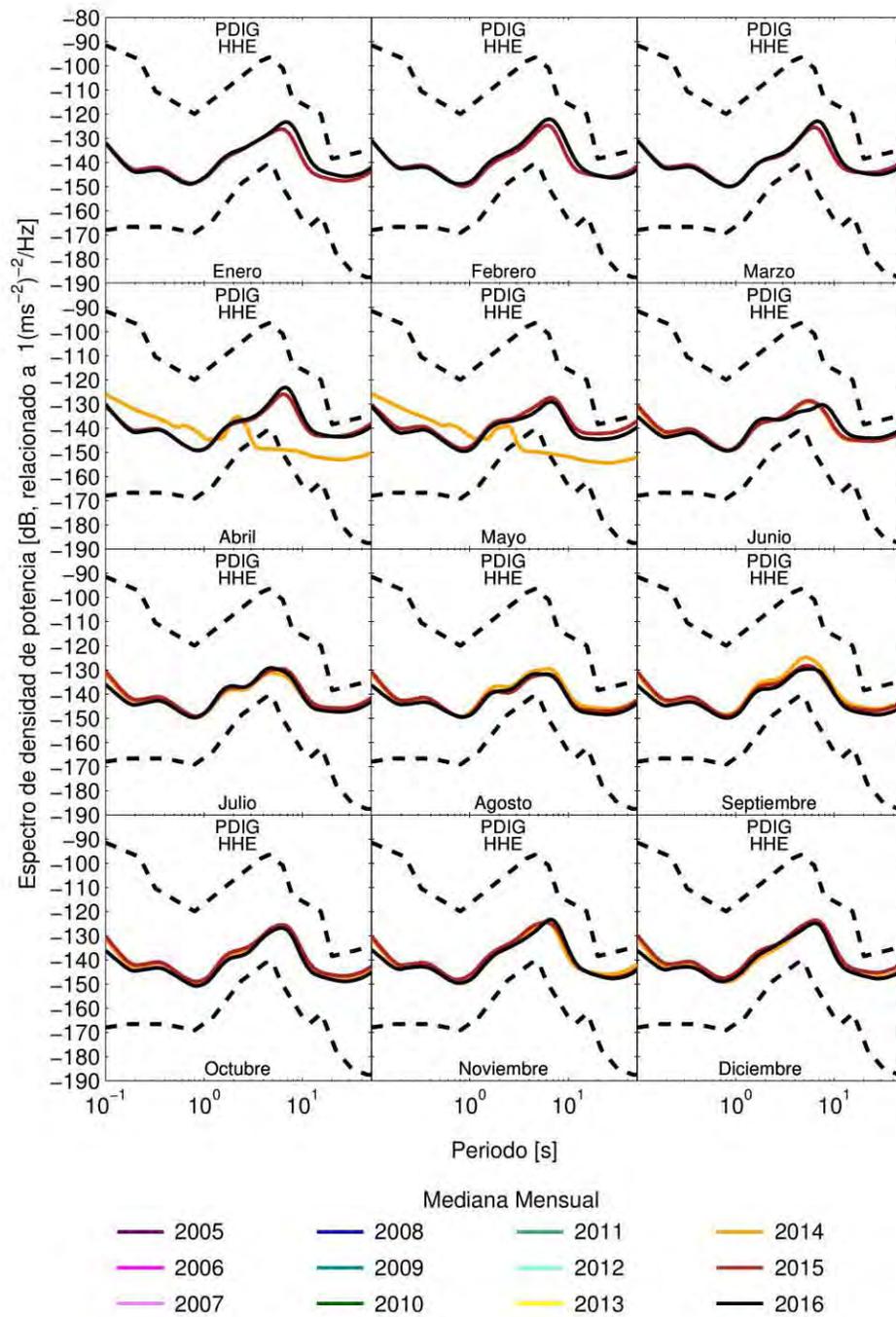


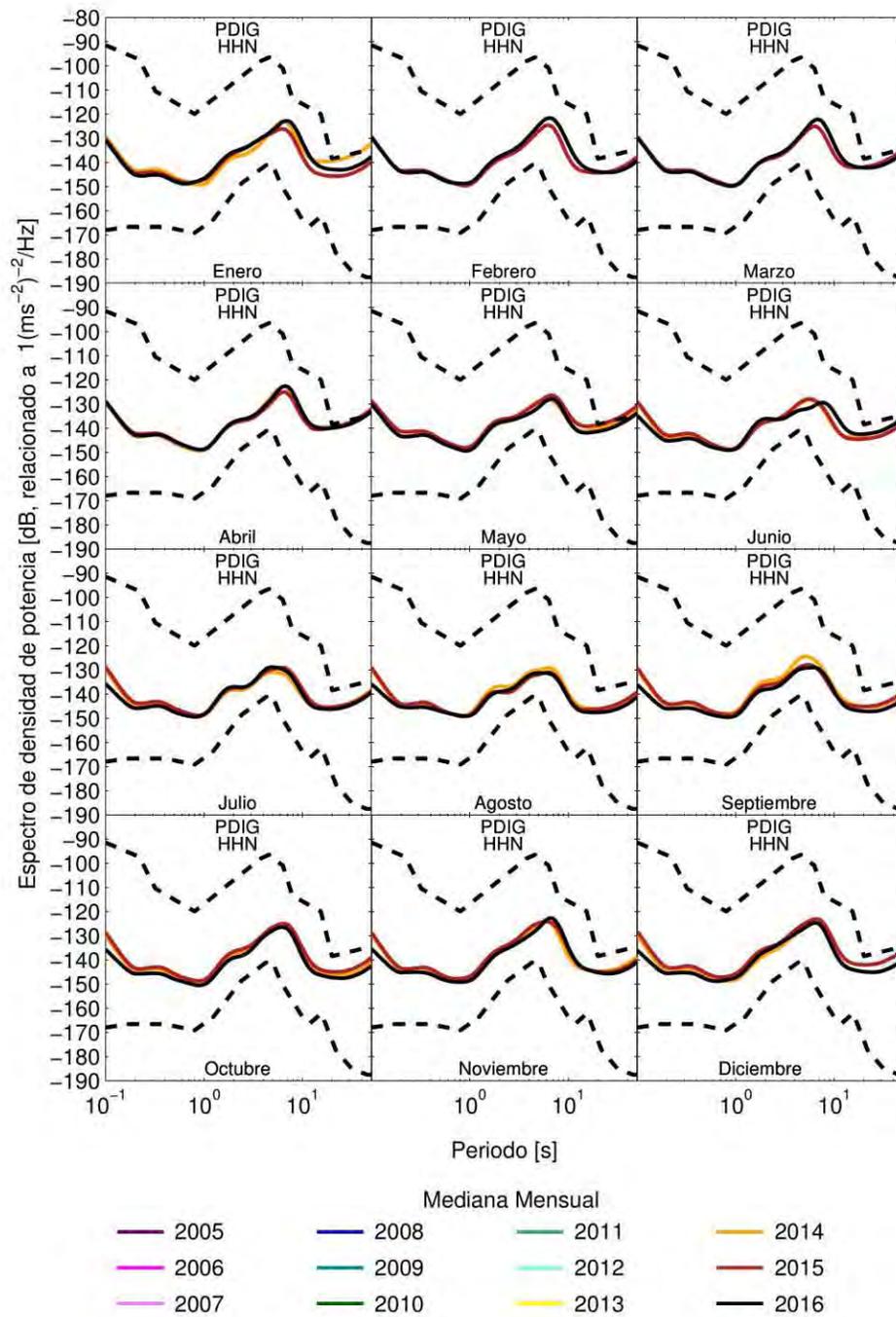


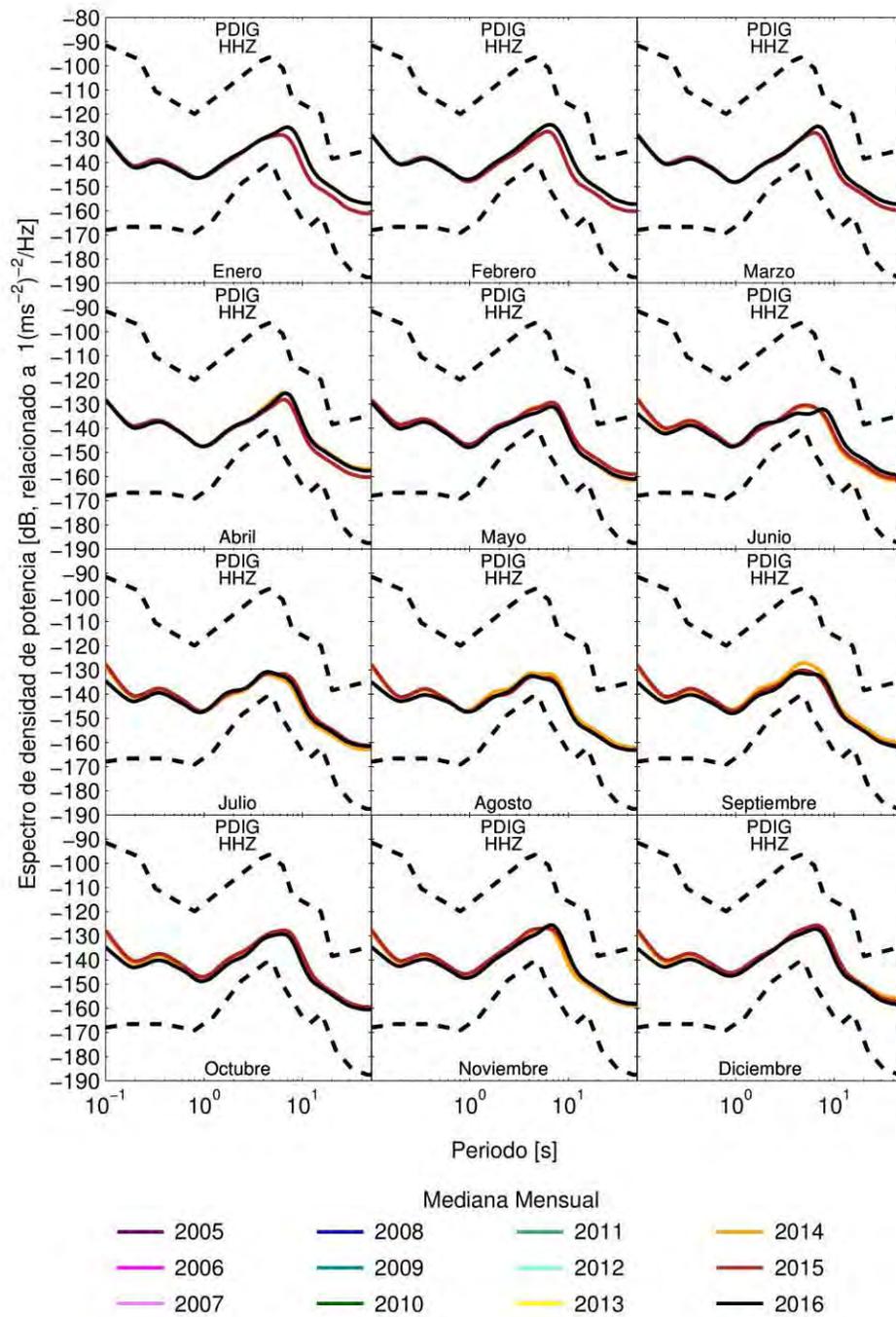


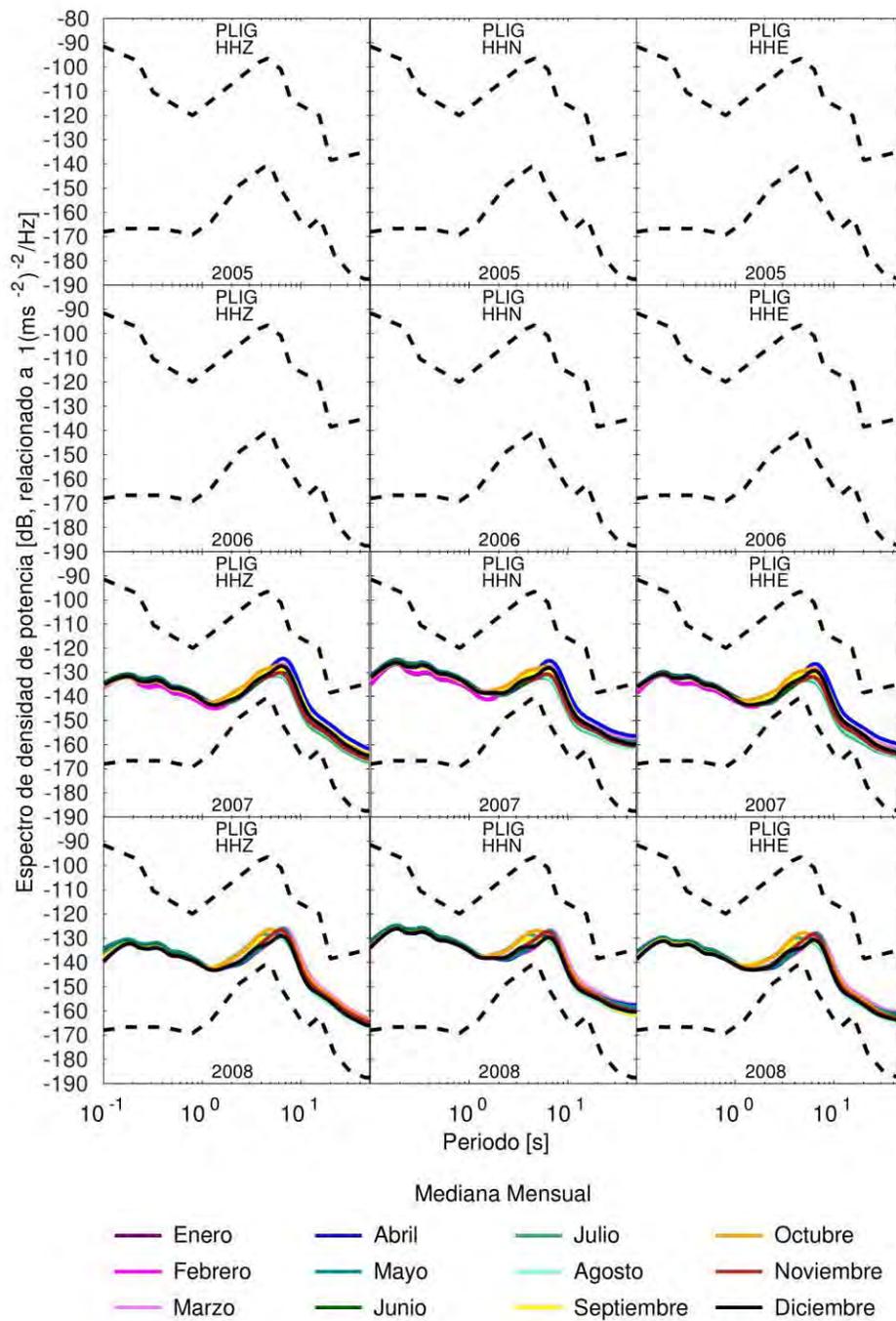


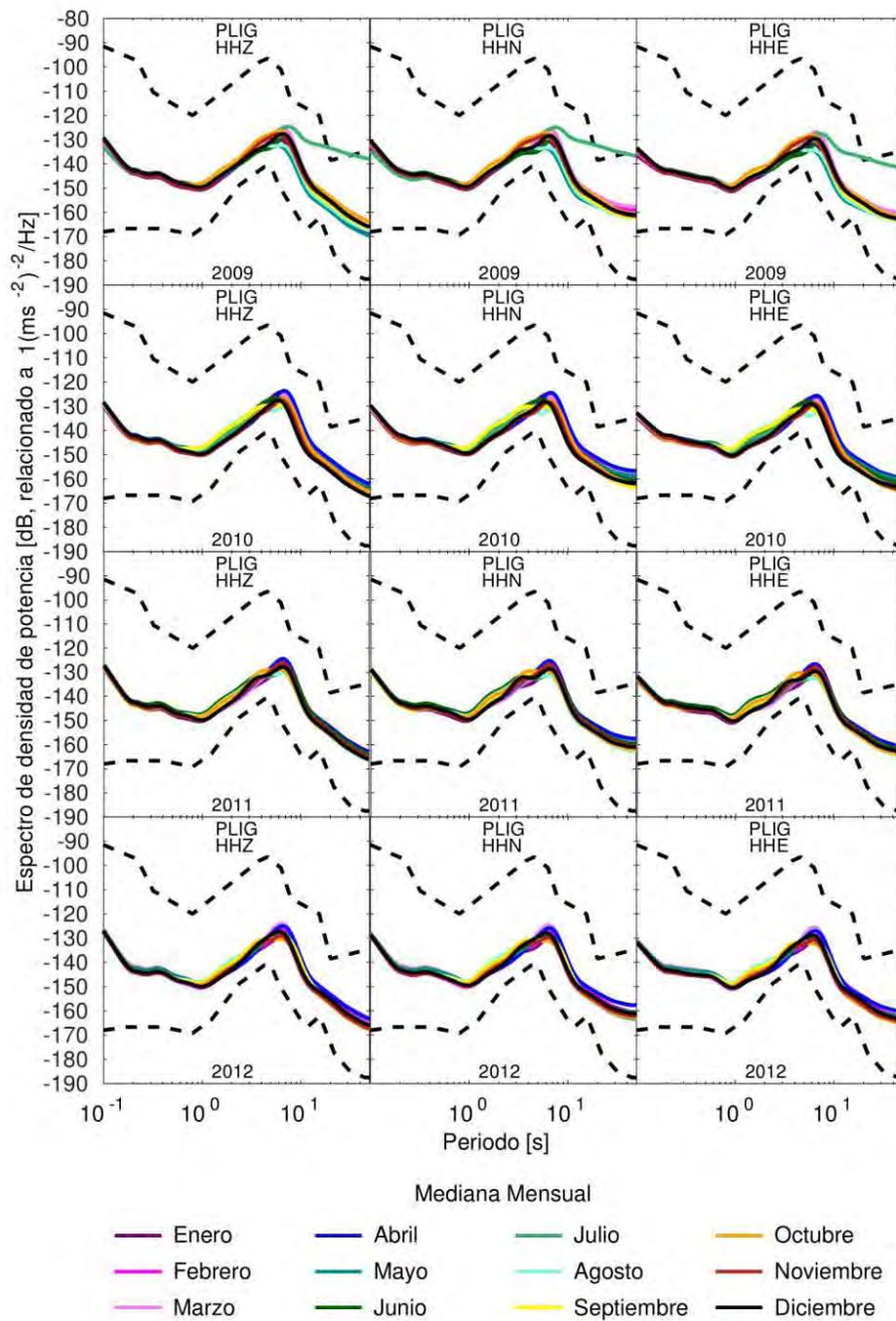


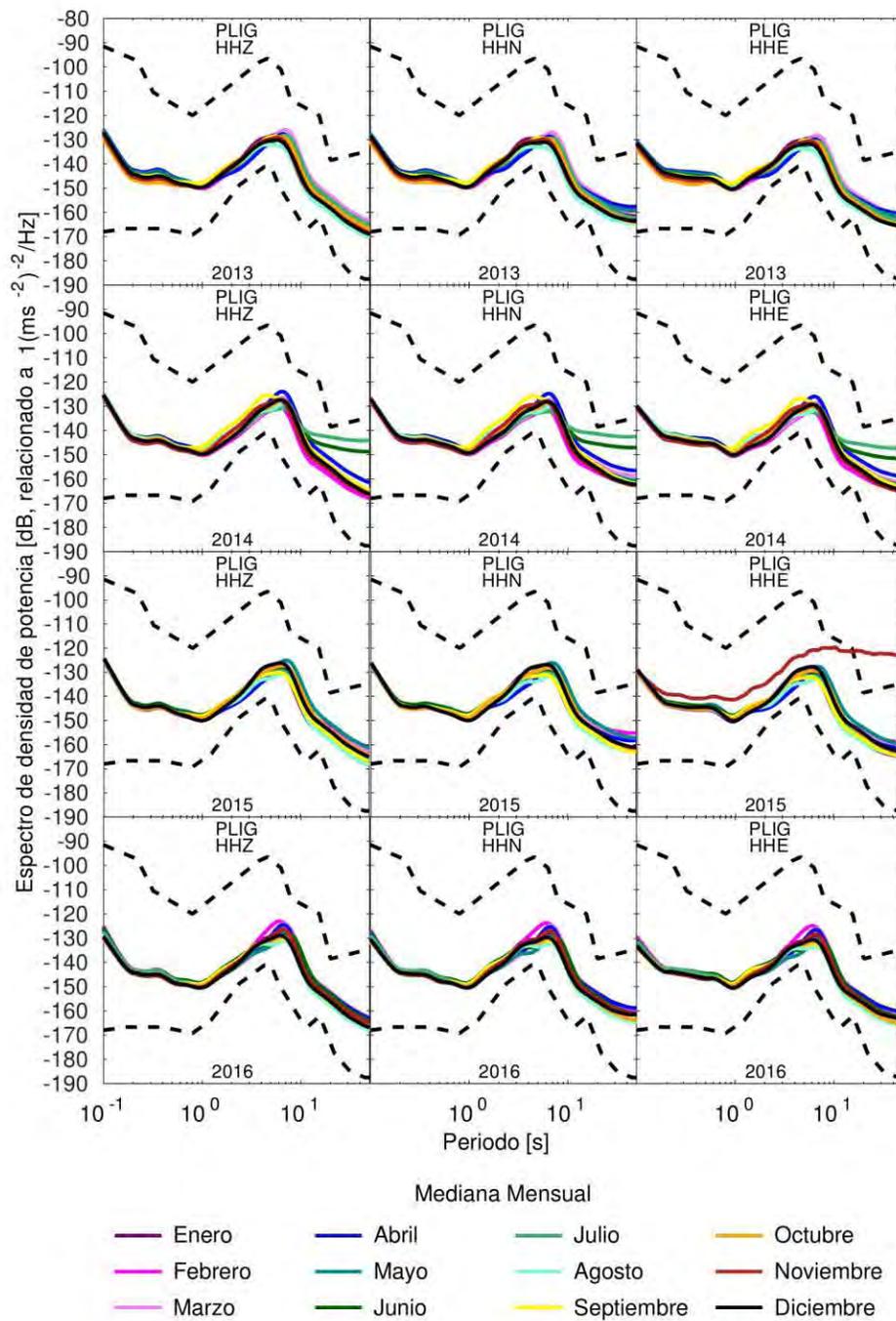


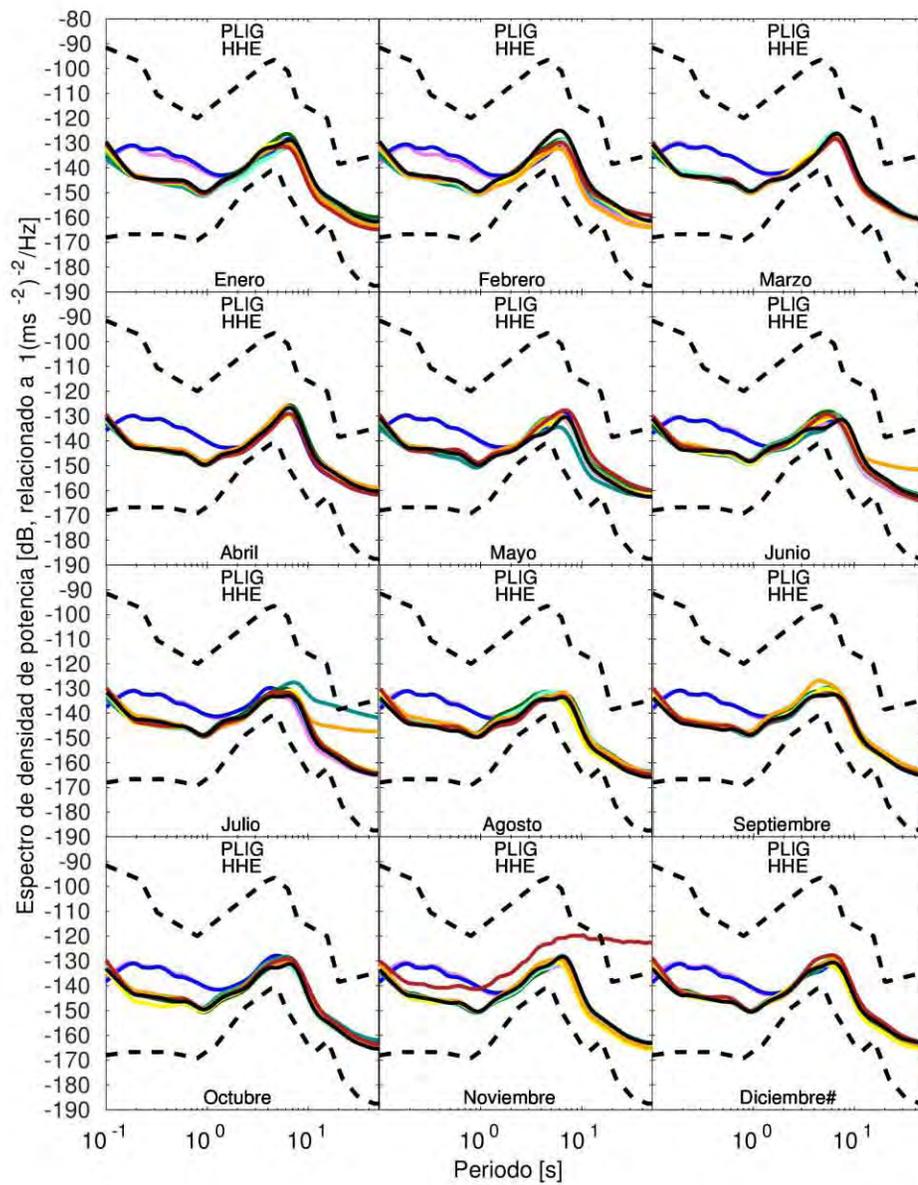






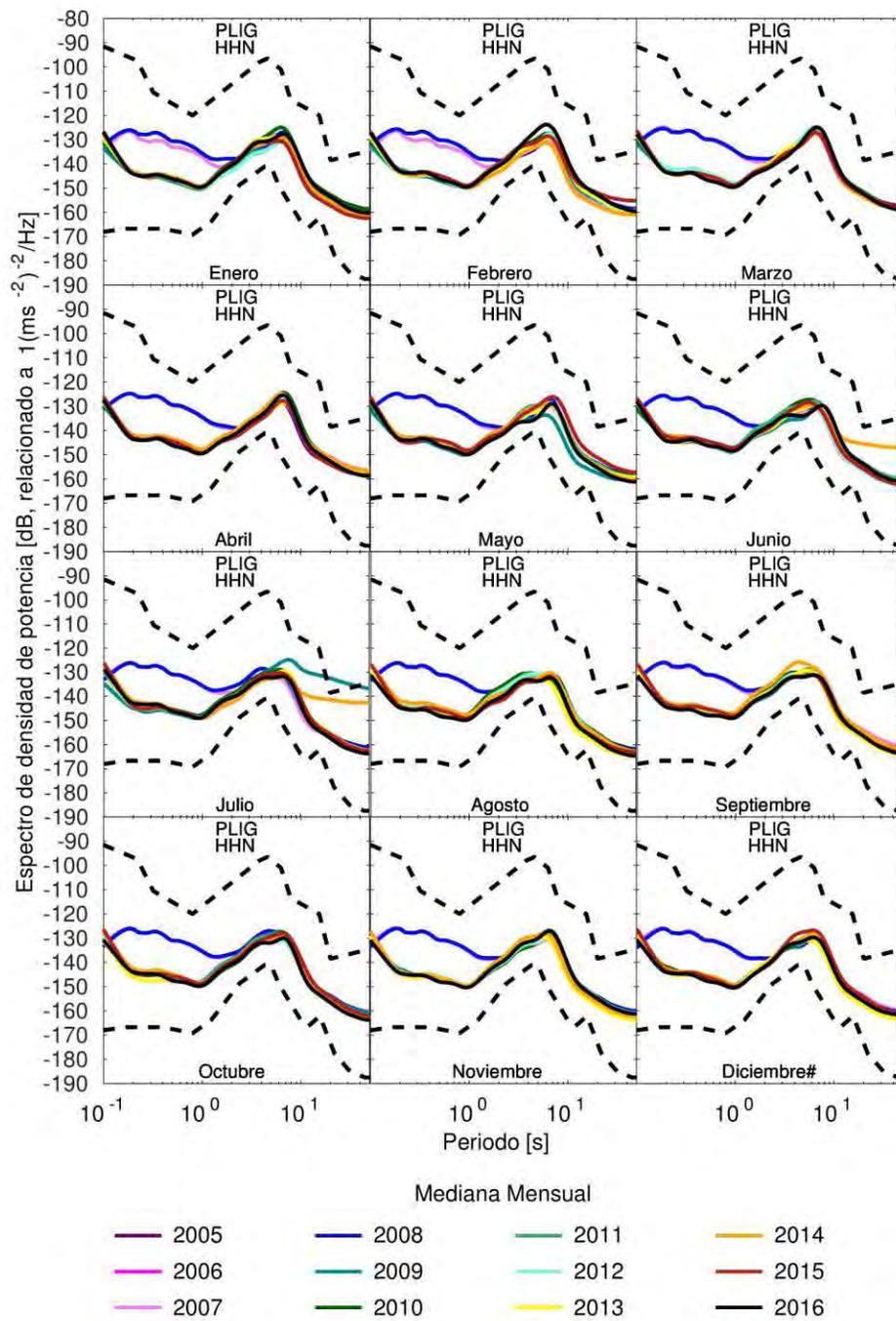


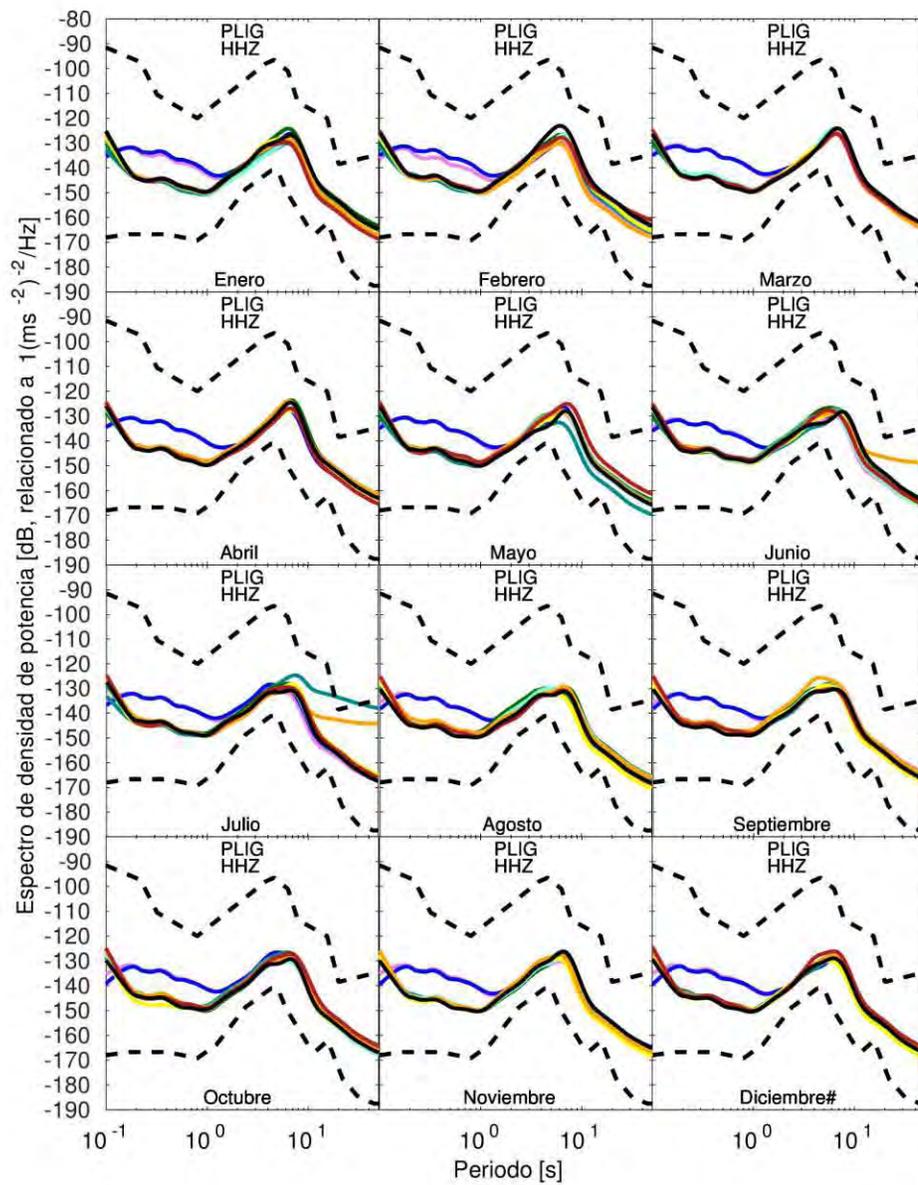




Mediana Mensual

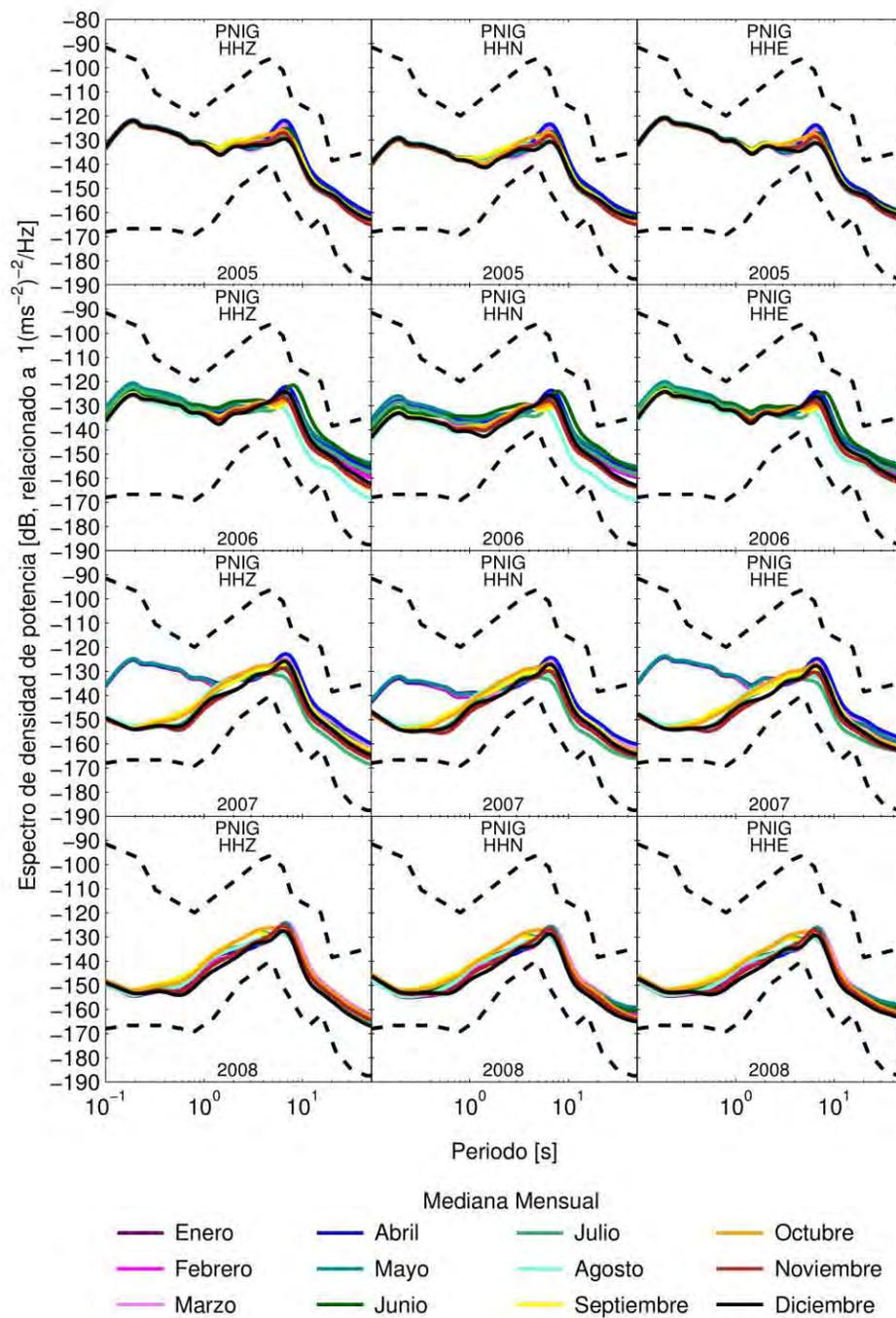


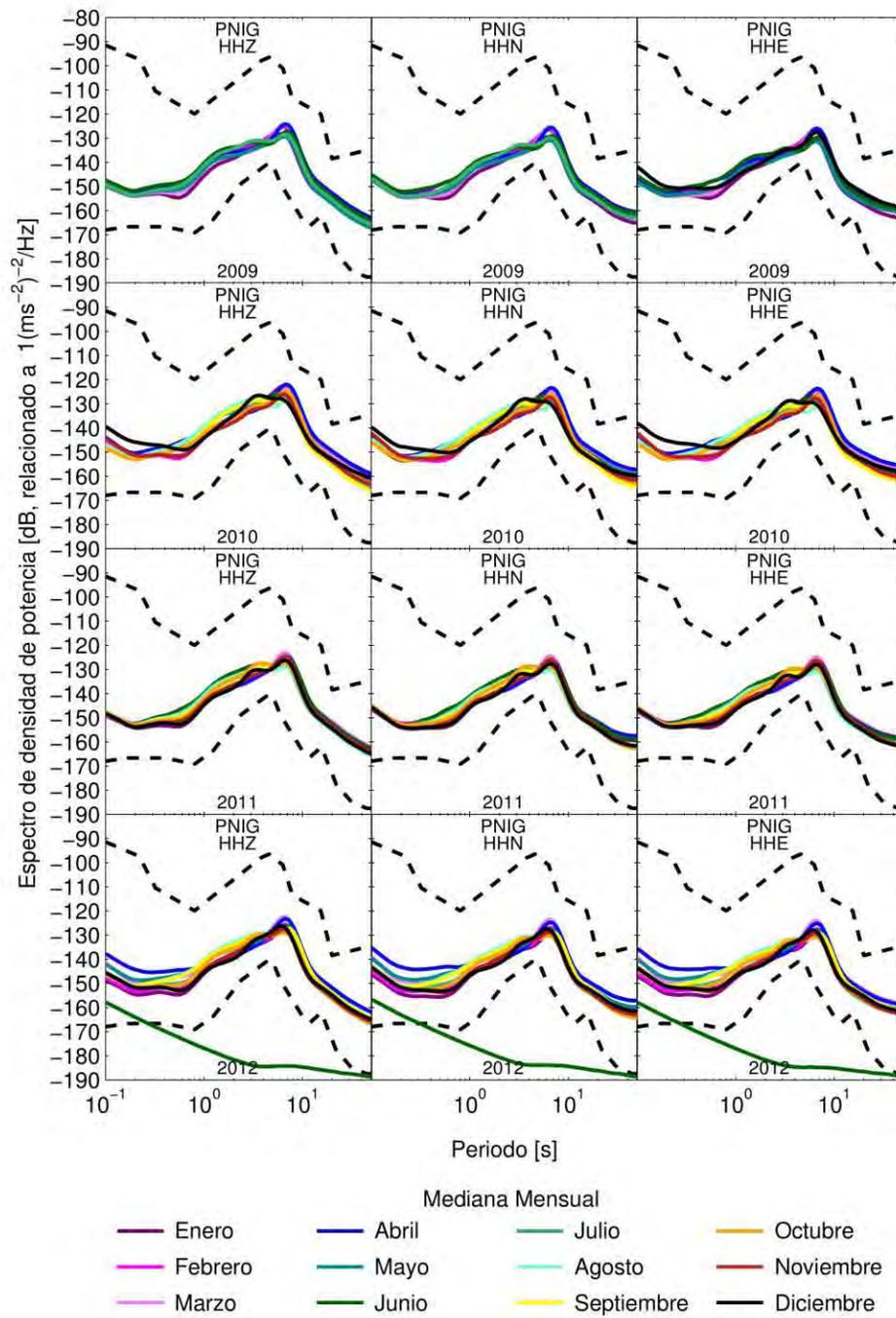


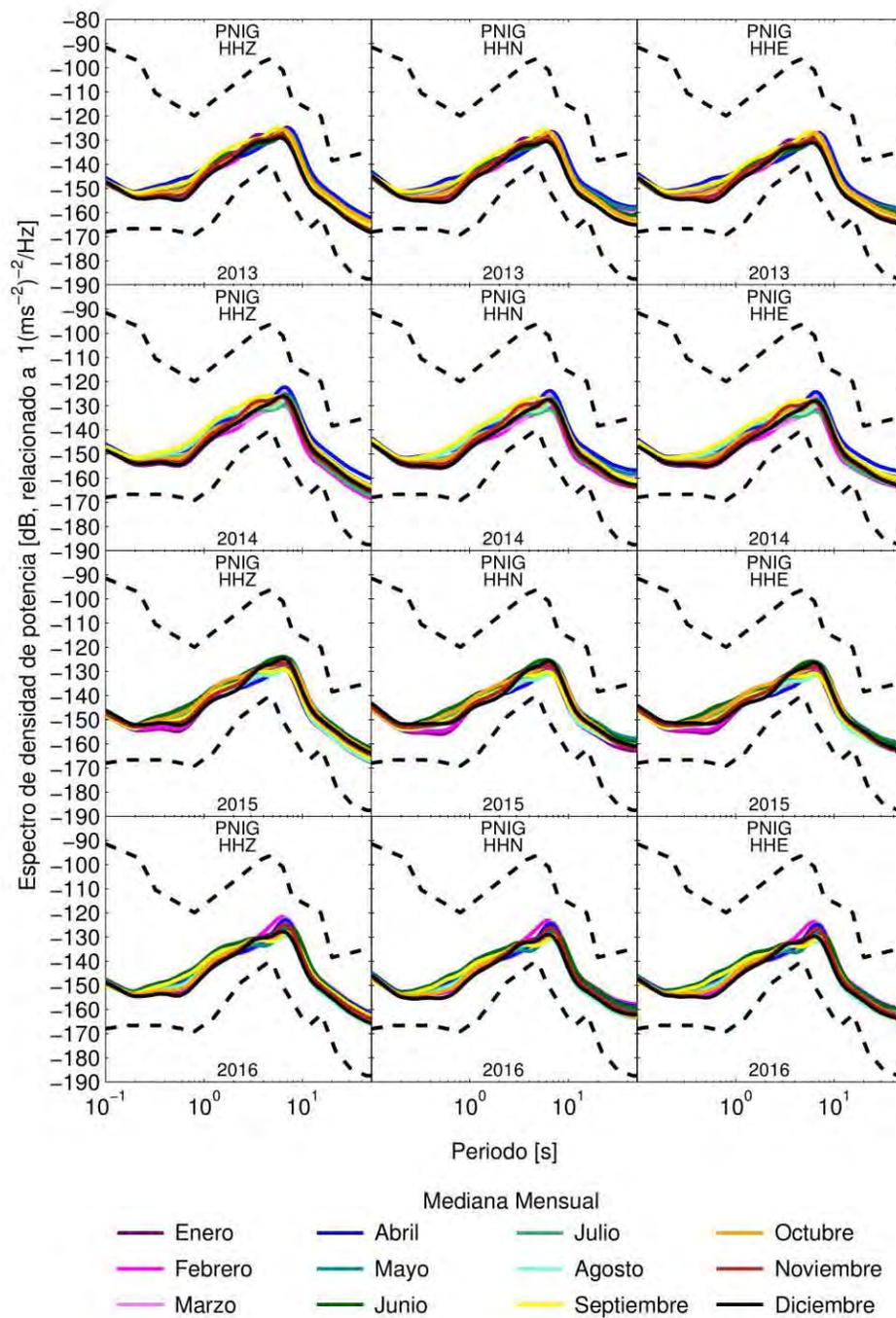


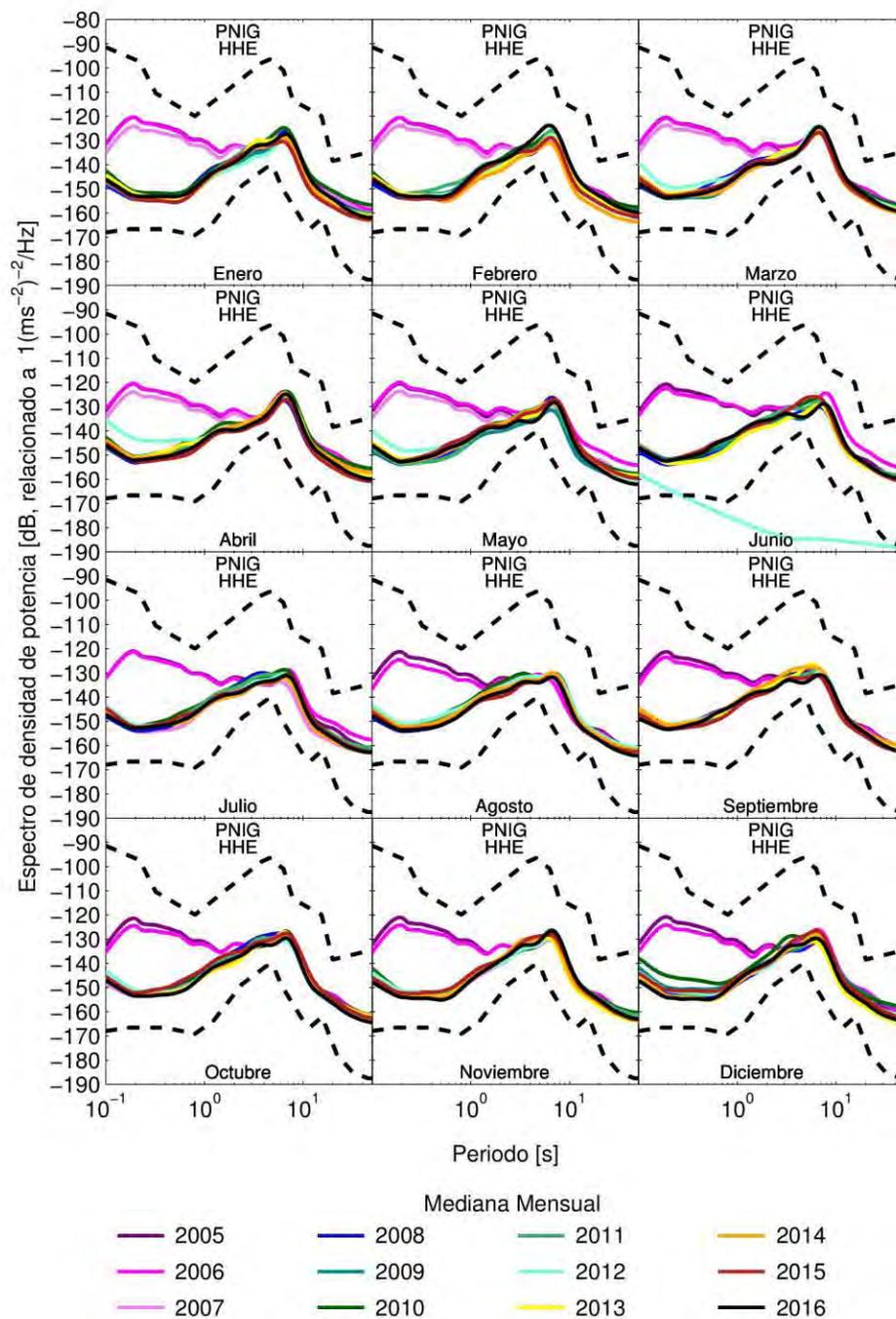
Mediana Mensual

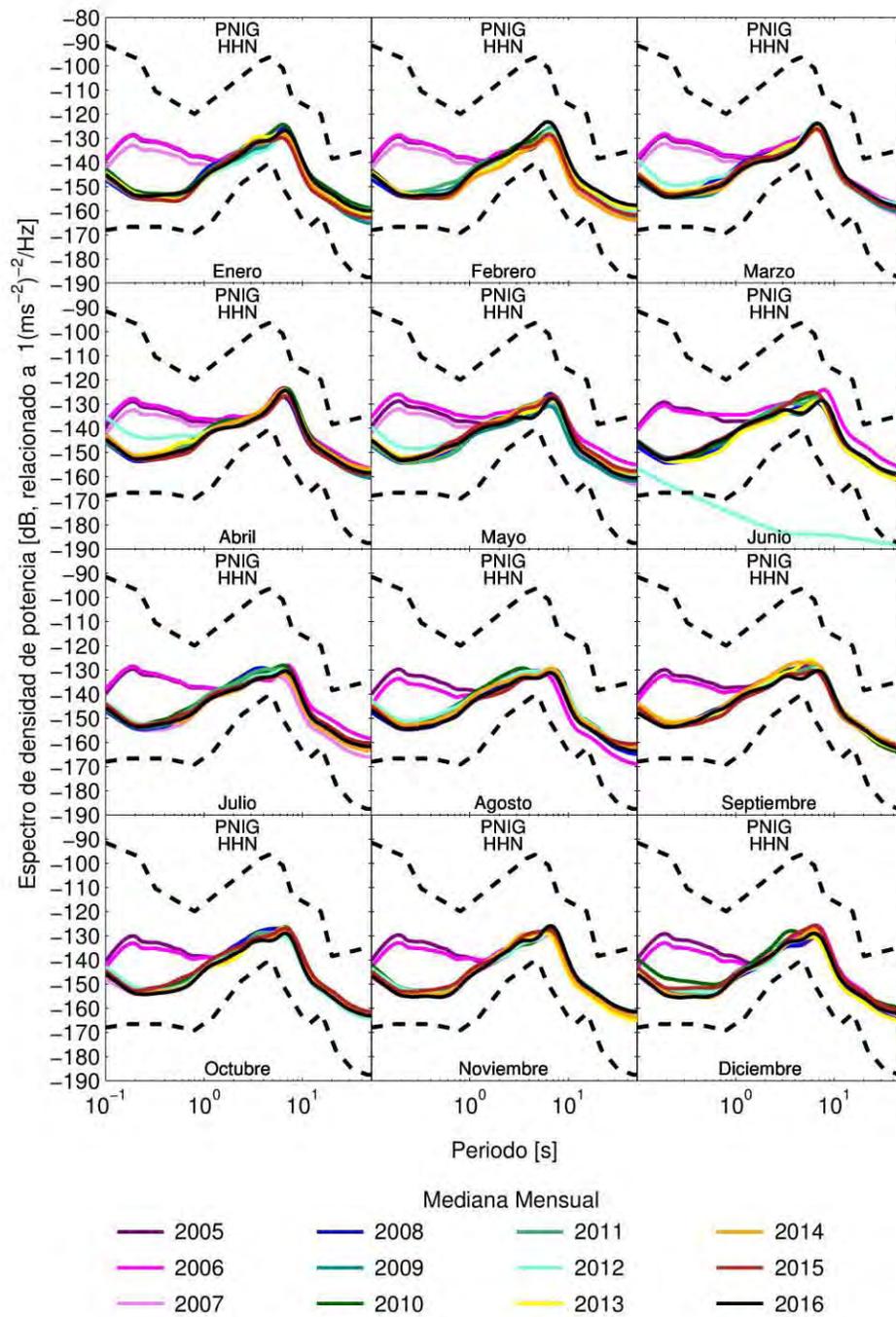


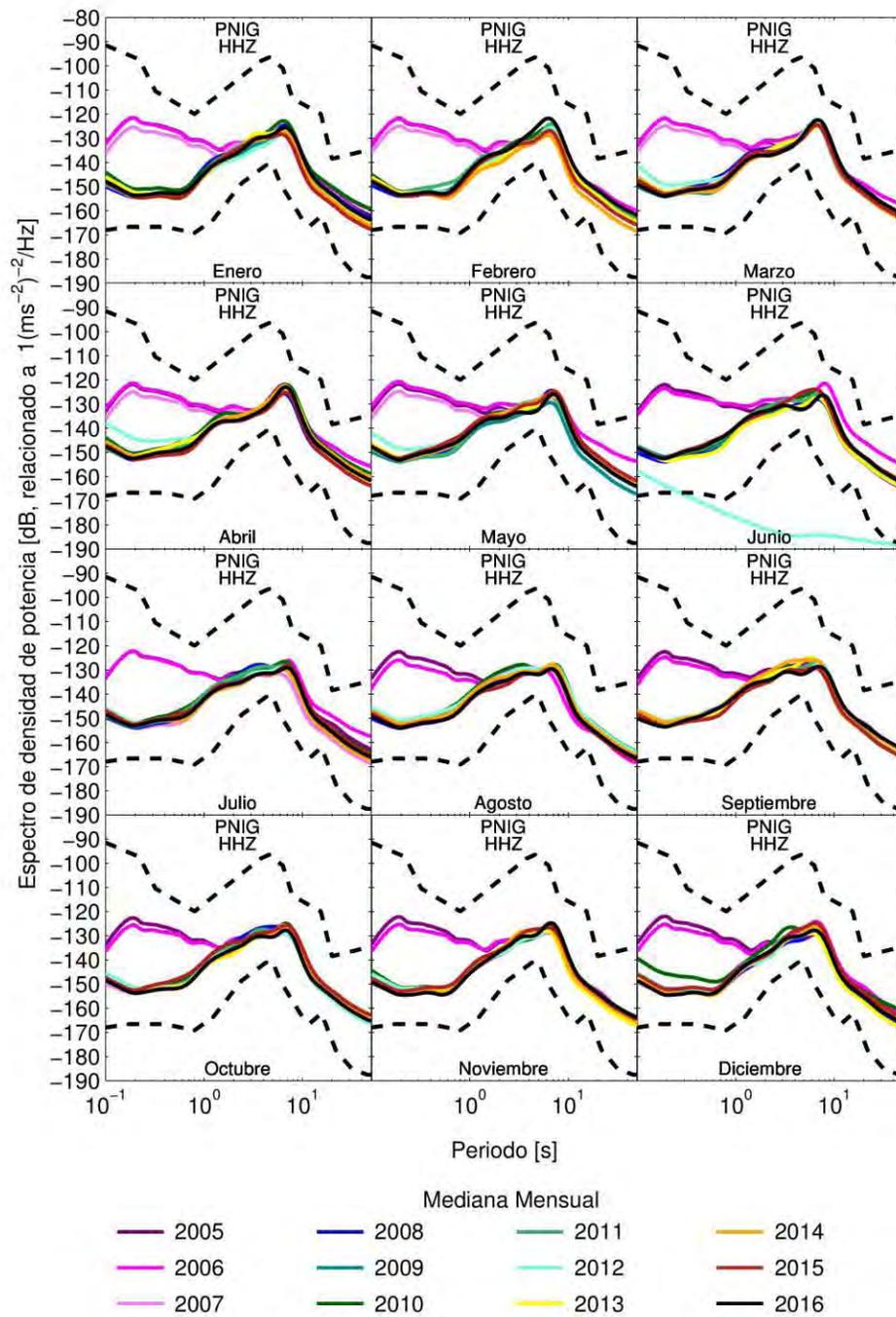


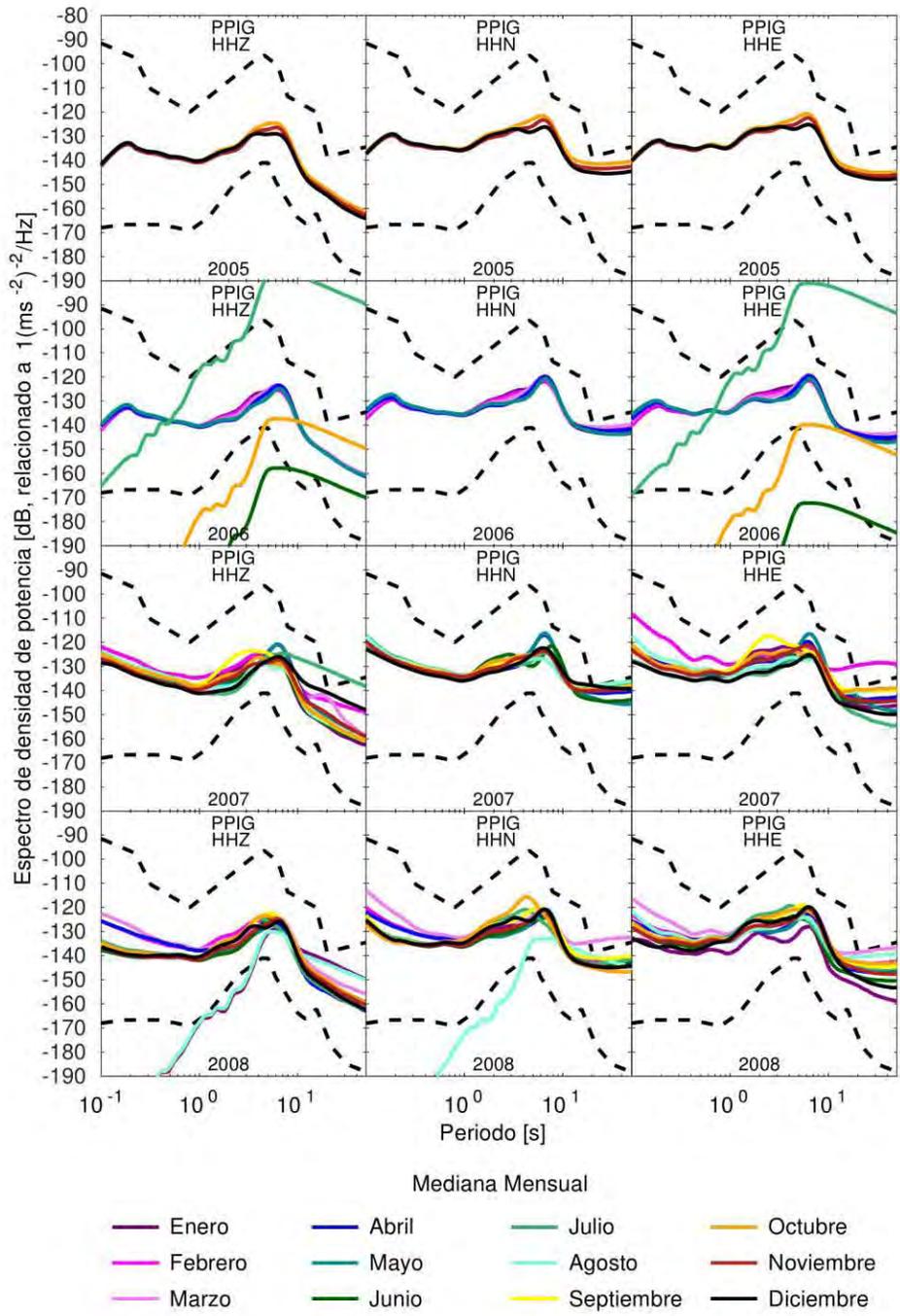


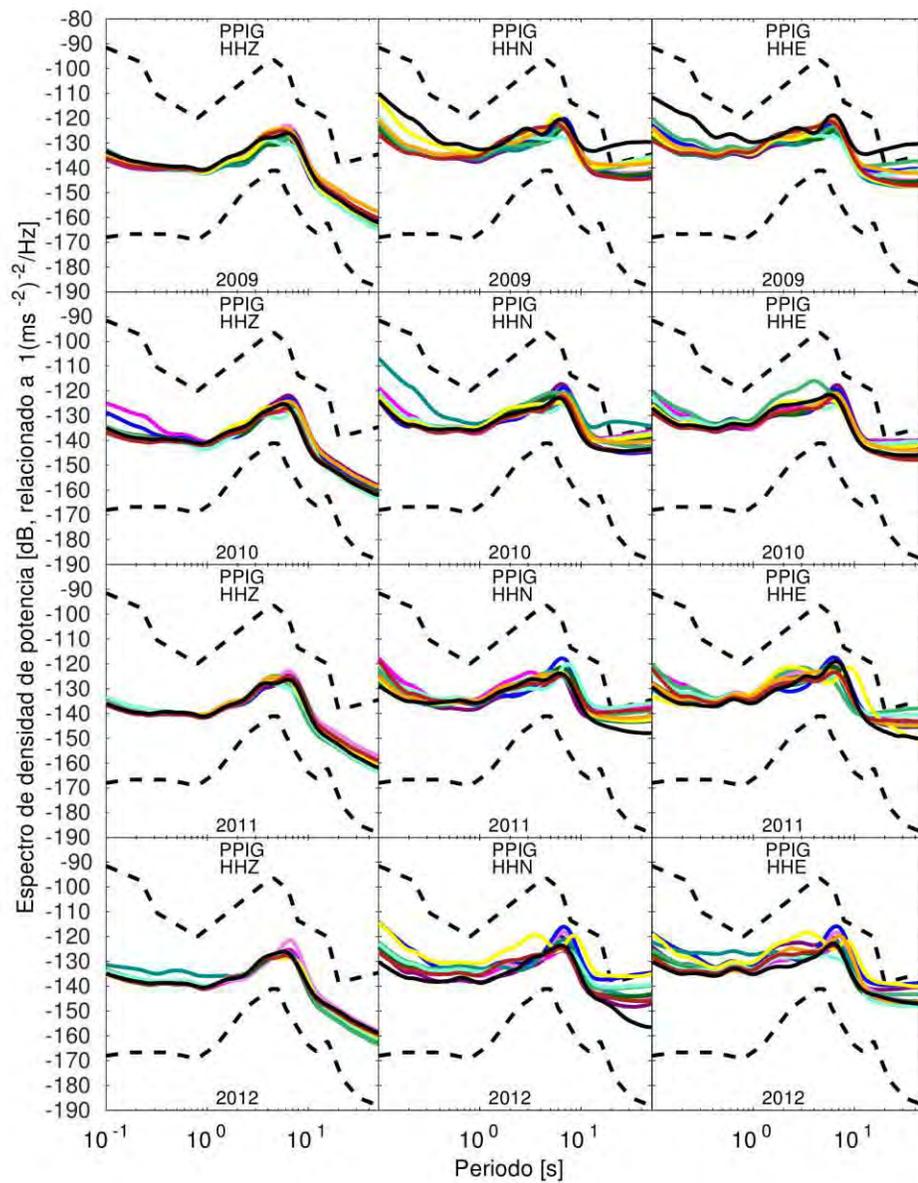






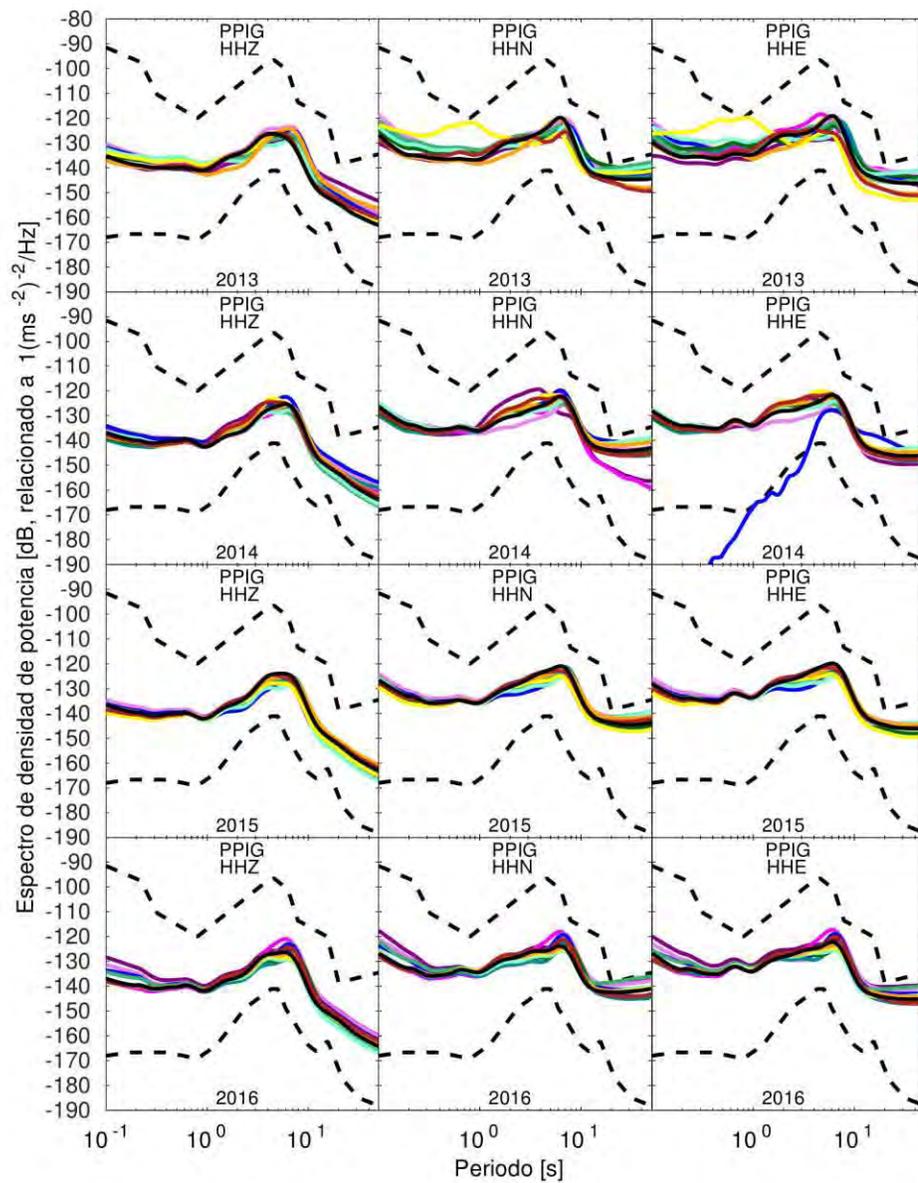






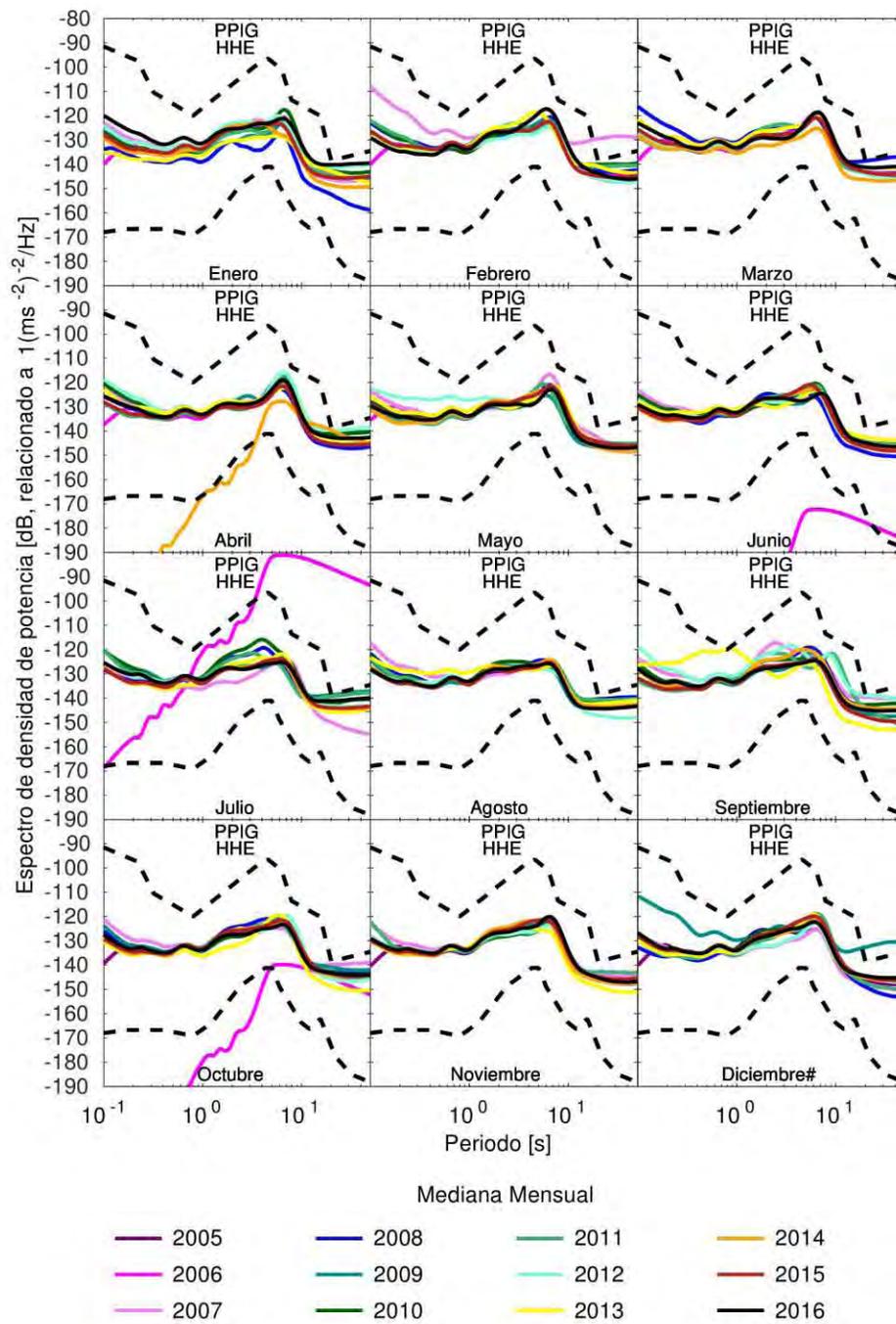
Mediana Mensual

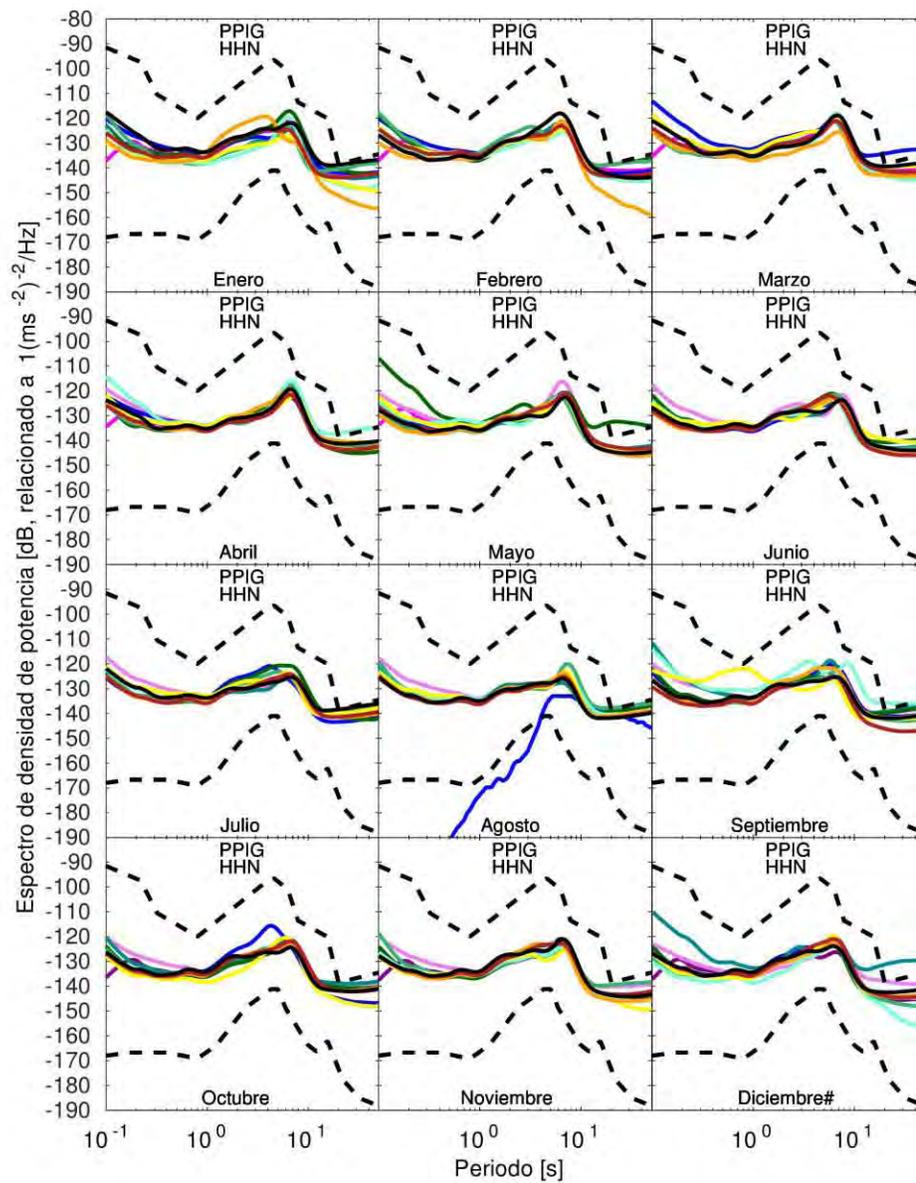
- | | | | |
|-----------|---------|--------------|-------------|
| — Enero | — Abril | — Julio | — Octubre |
| — Febrero | — Mayo | — Agosto | — Noviembre |
| — Marzo | — Junio | — Septiembre | — Diciembre |



Mediana Mensual

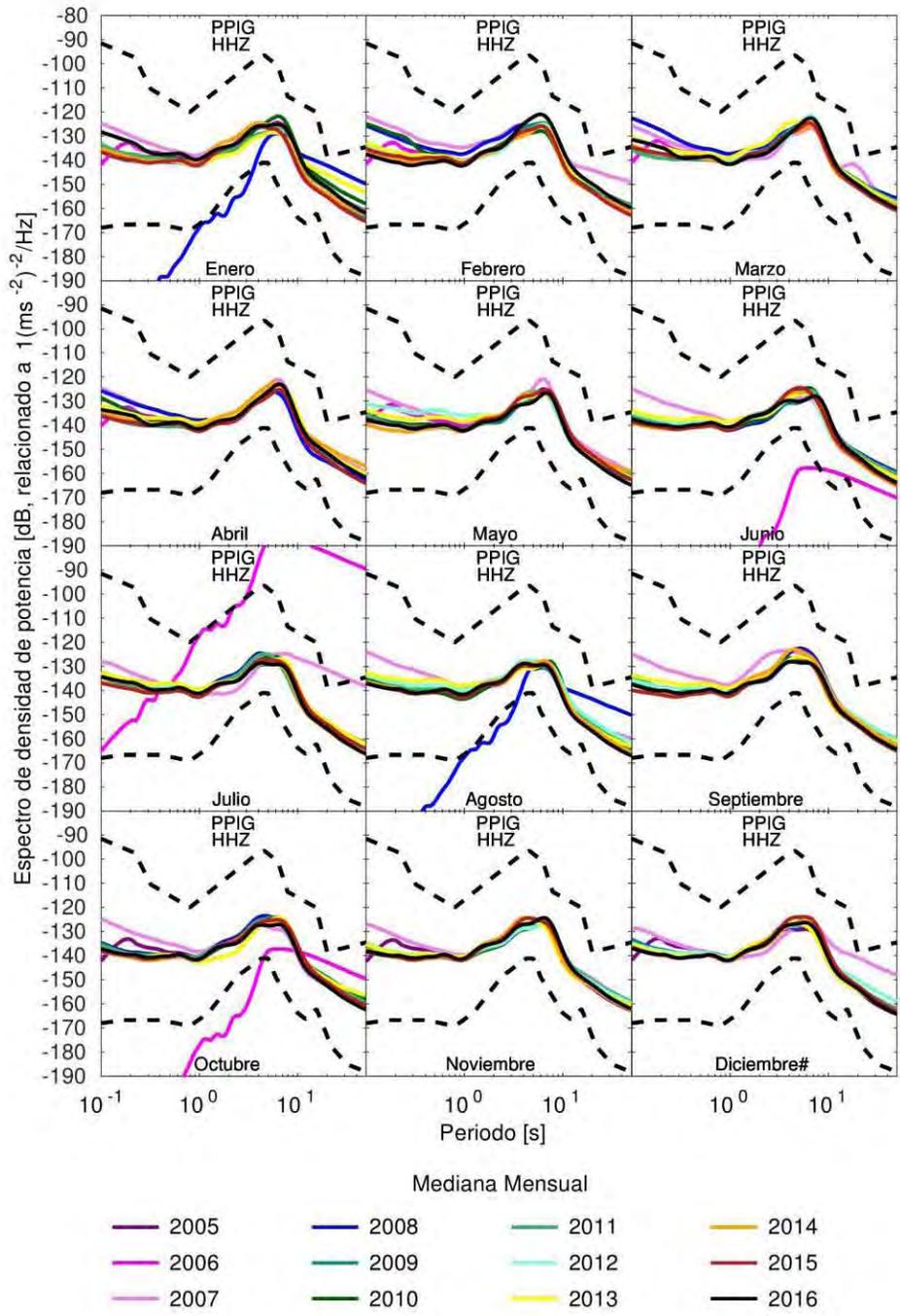
- | | | | |
|-----------|---------|--------------|-------------|
| — Enero | — Abril | — Julio | — Octubre |
| — Febrero | — Mayo | — Agosto | — Noviembre |
| — Marzo | — Junio | — Septiembre | — Diciembre |

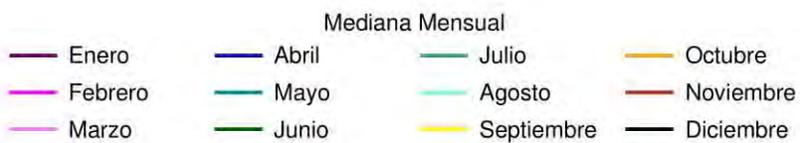
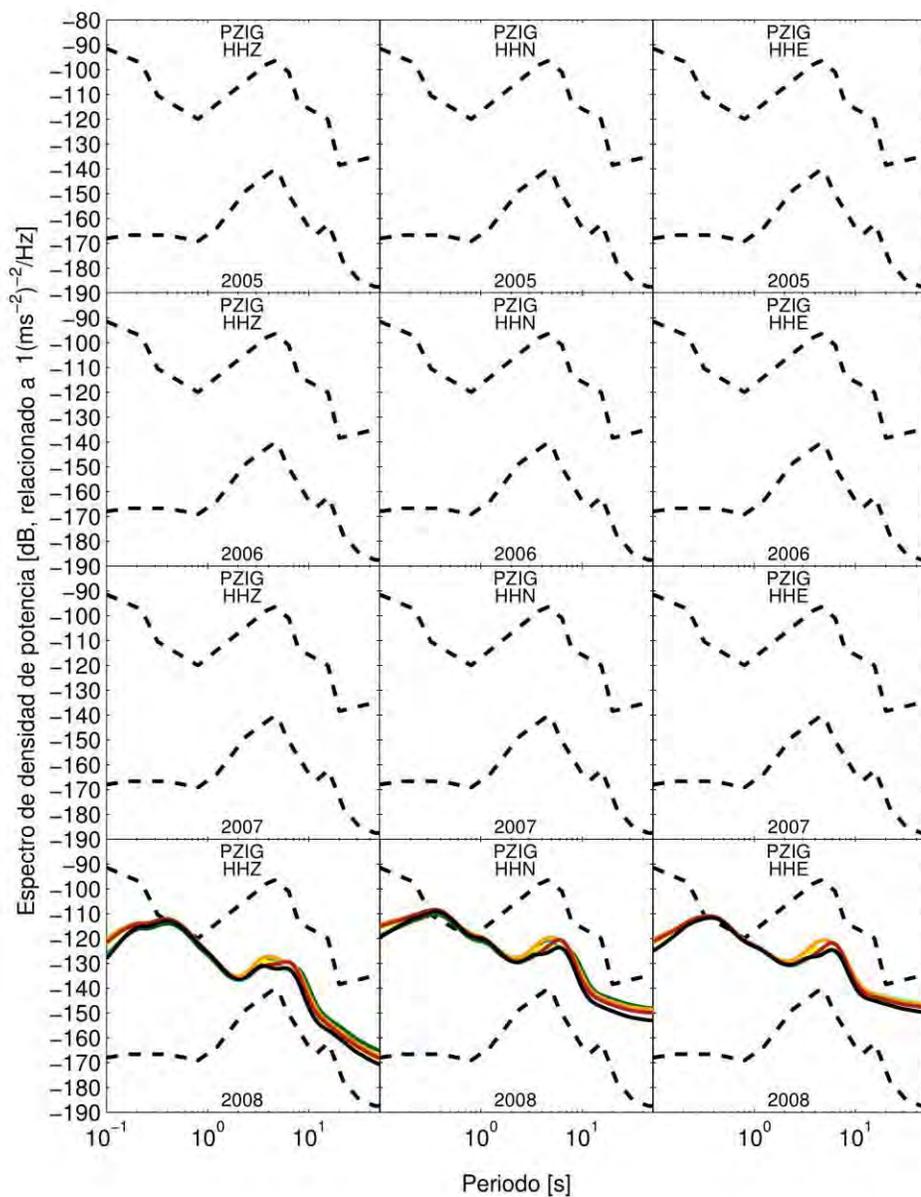


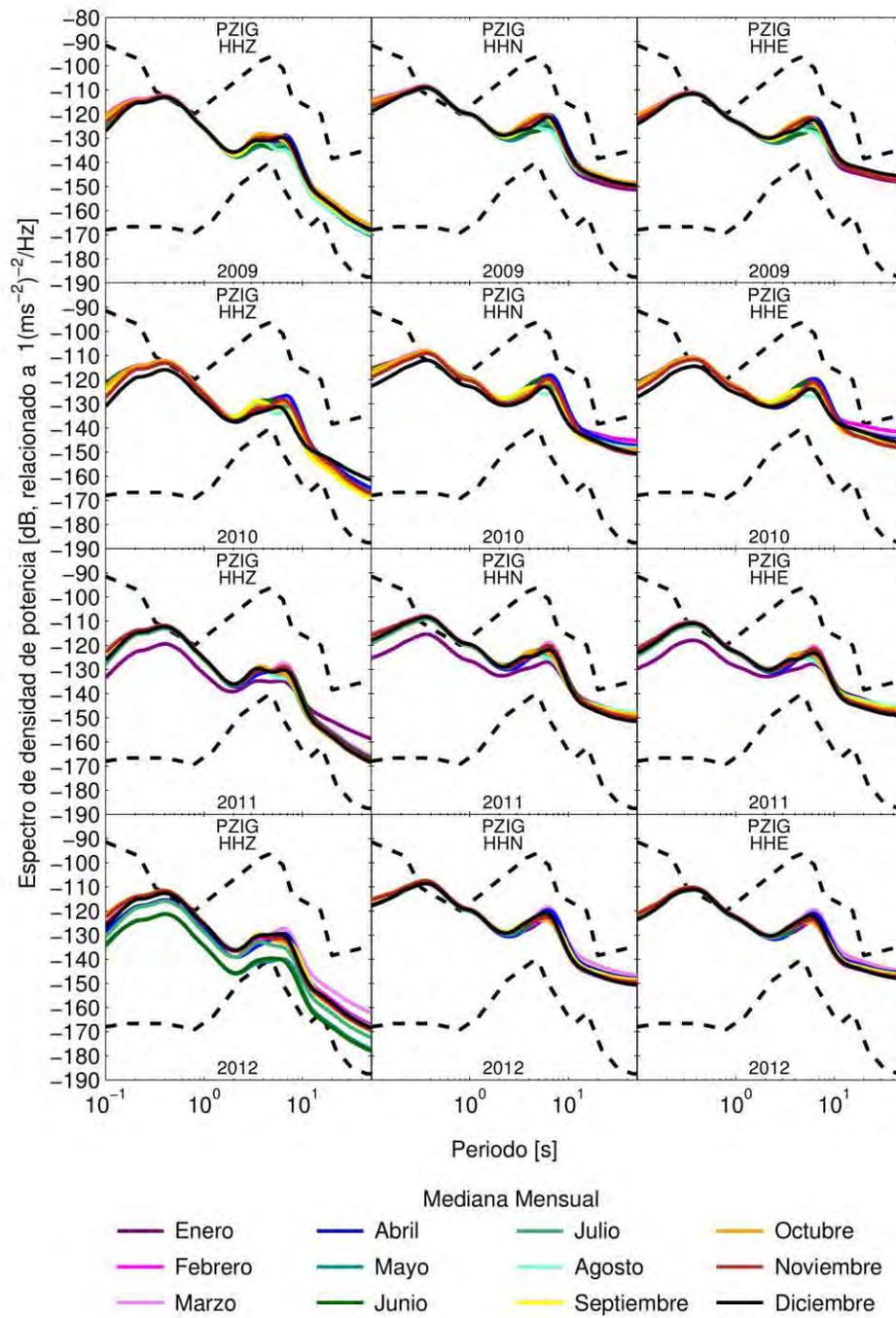


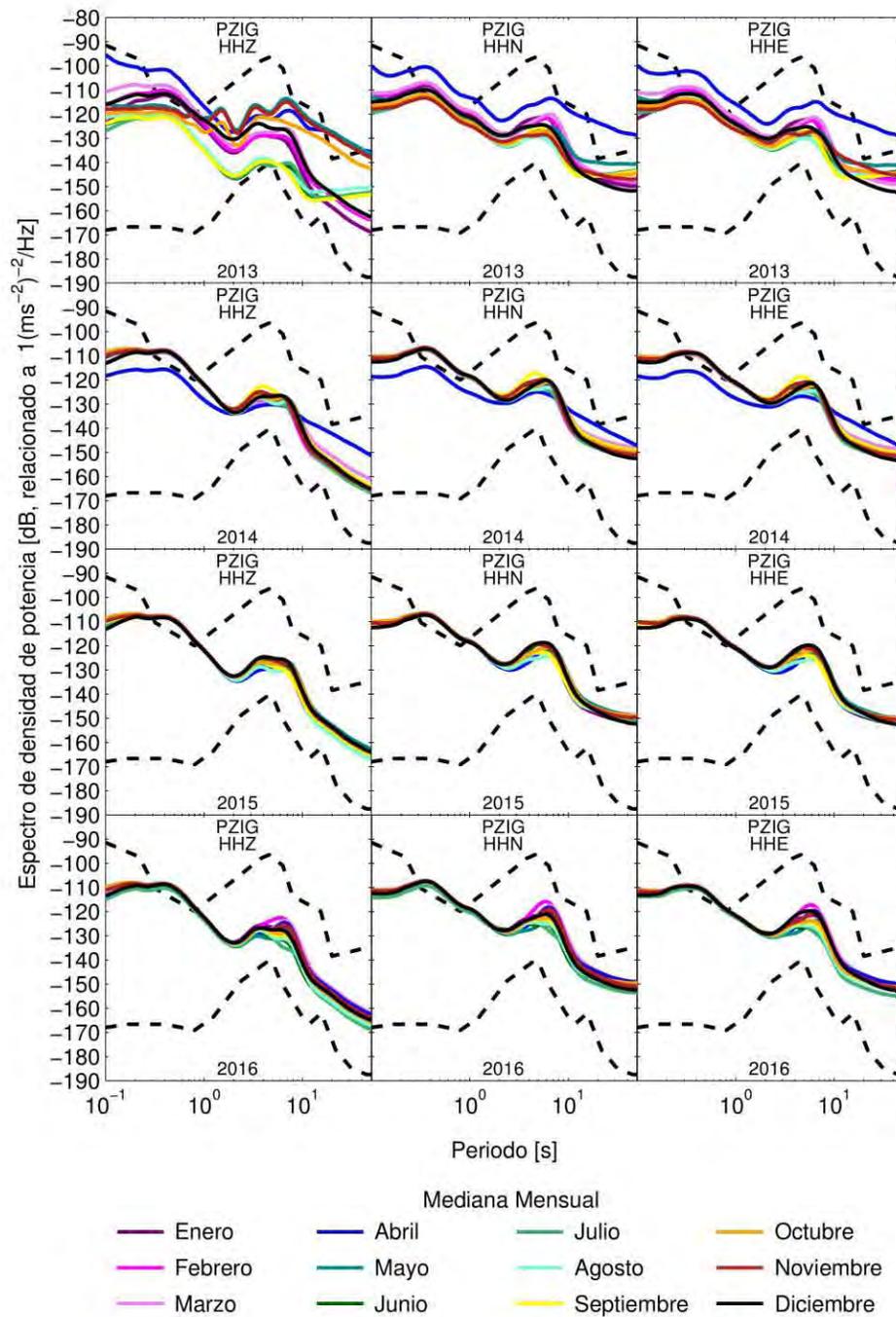
Mediana Mensual

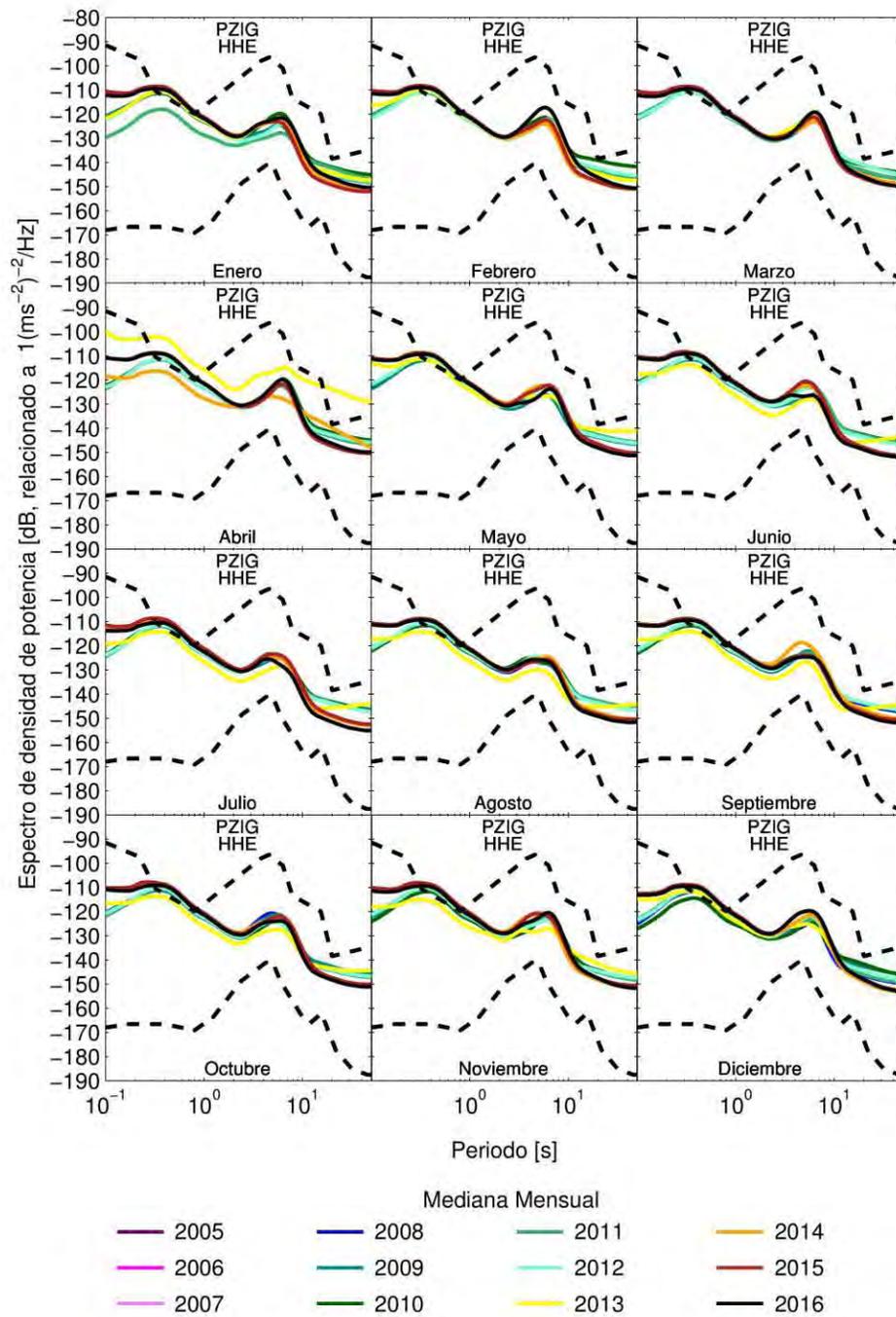


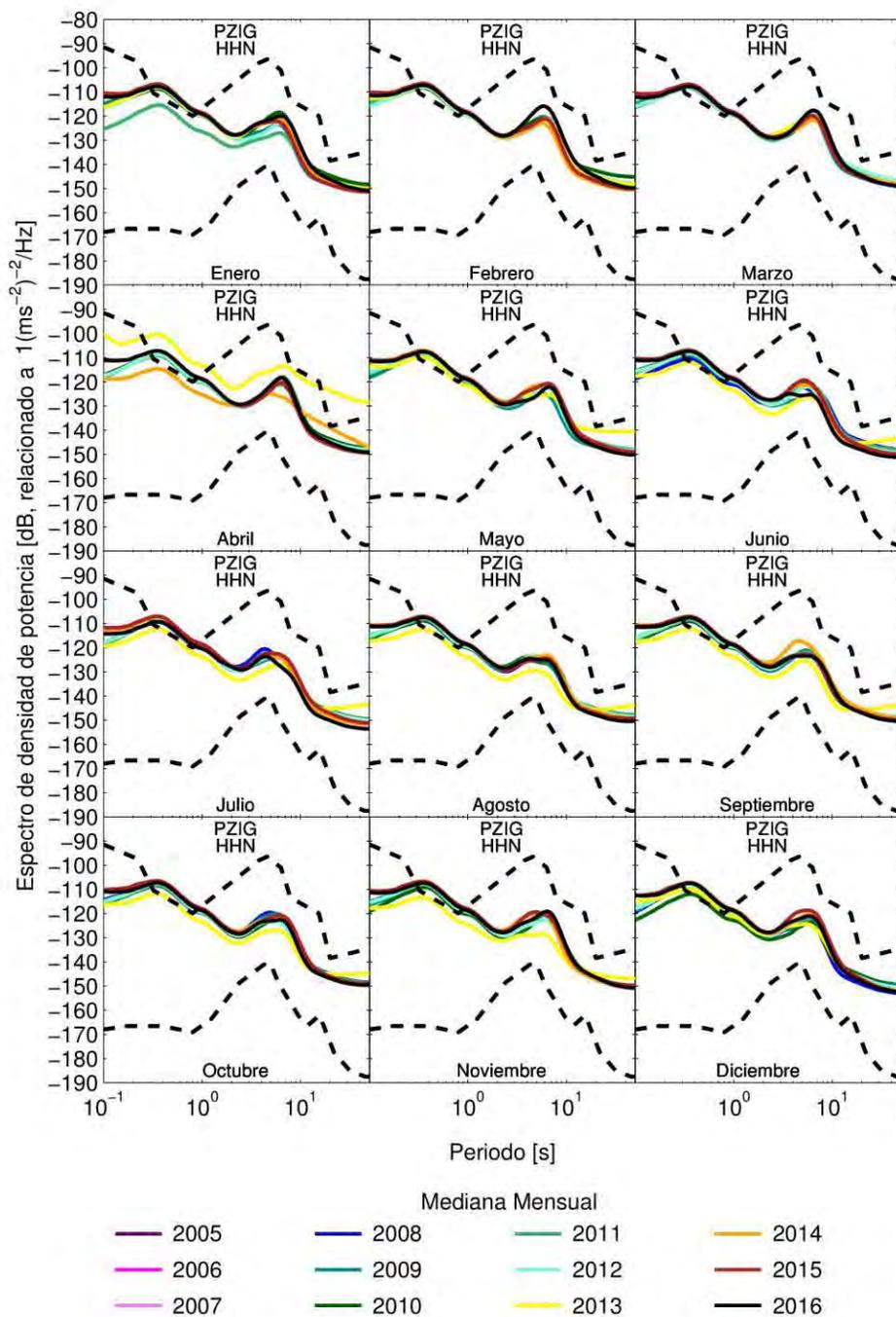


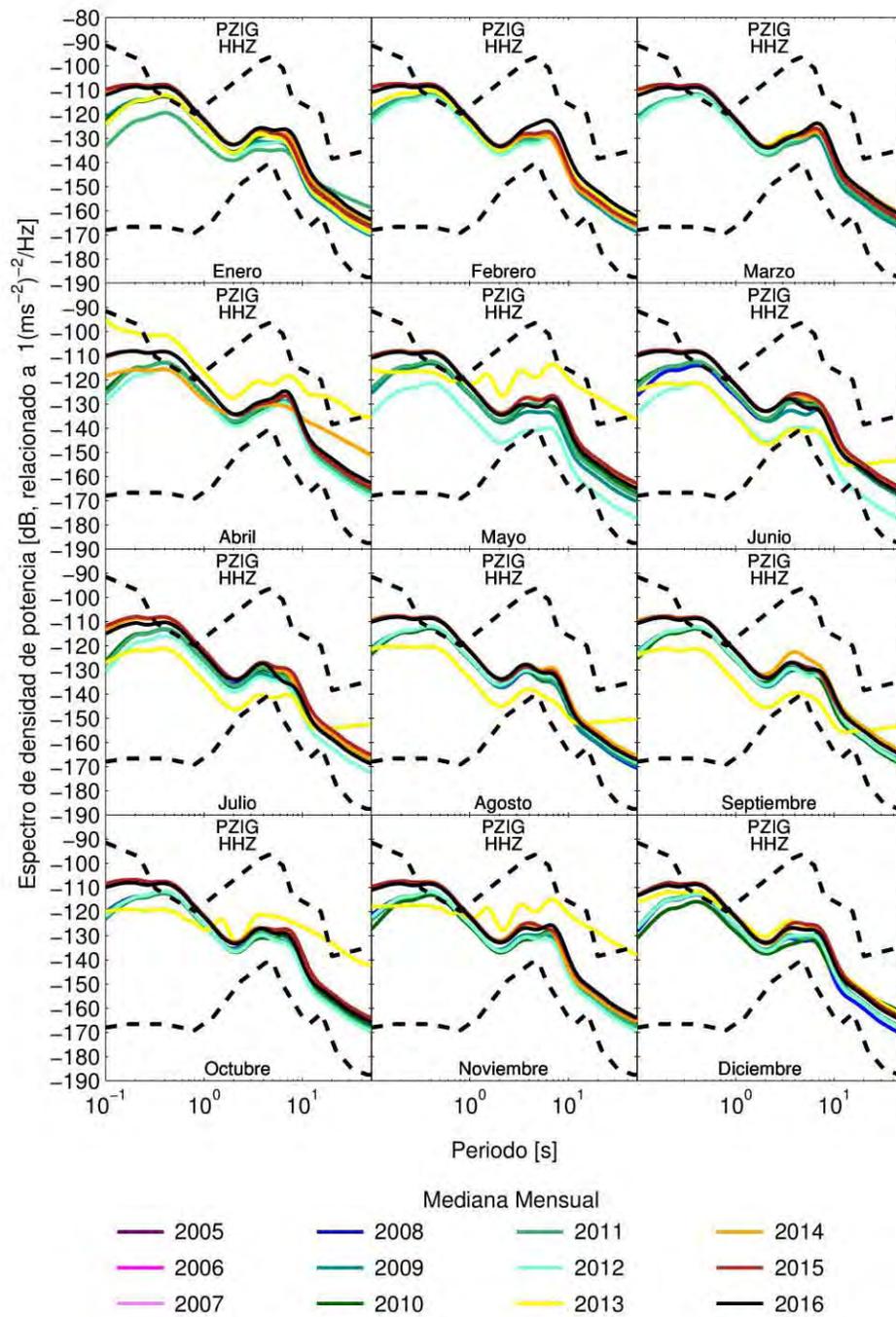


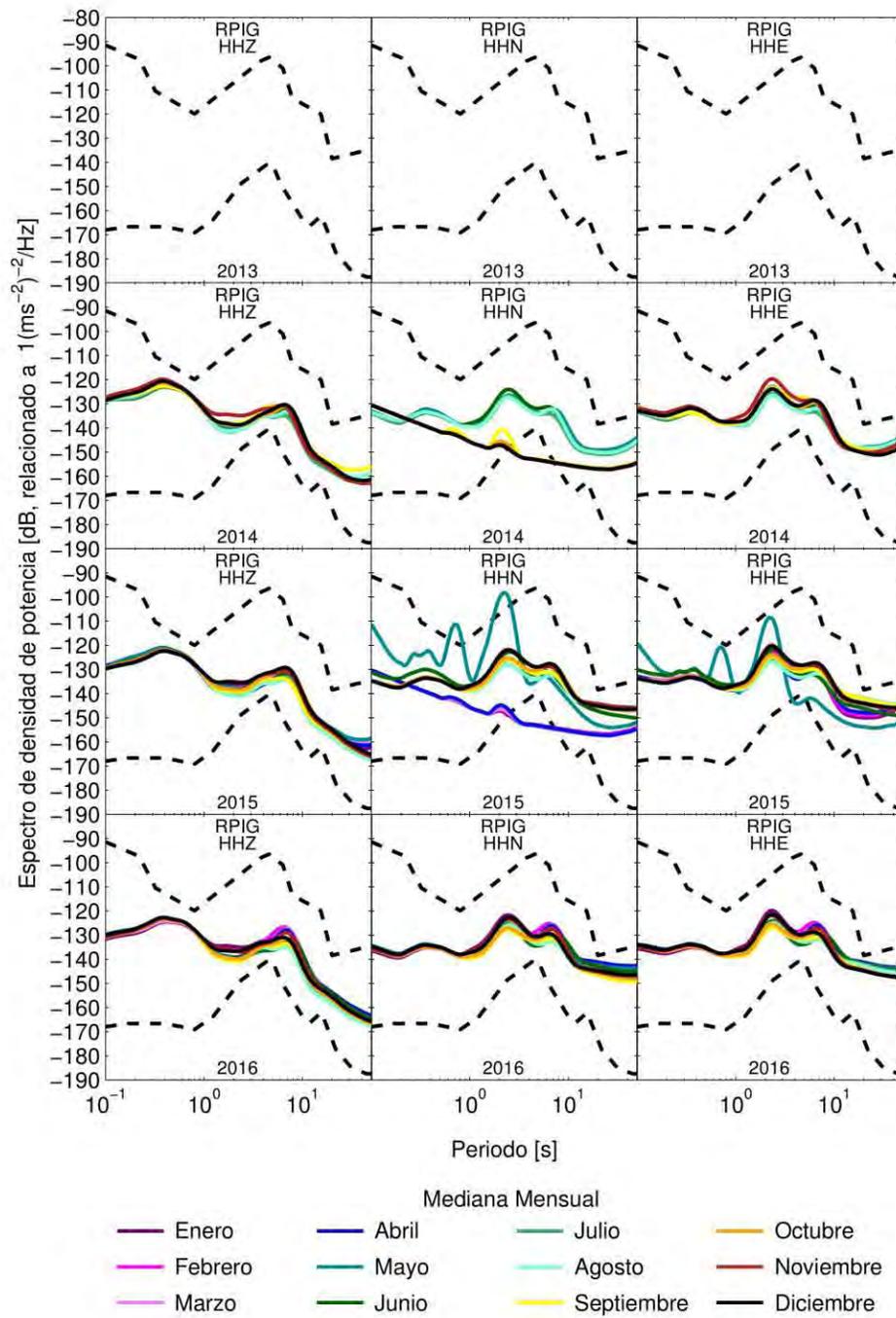


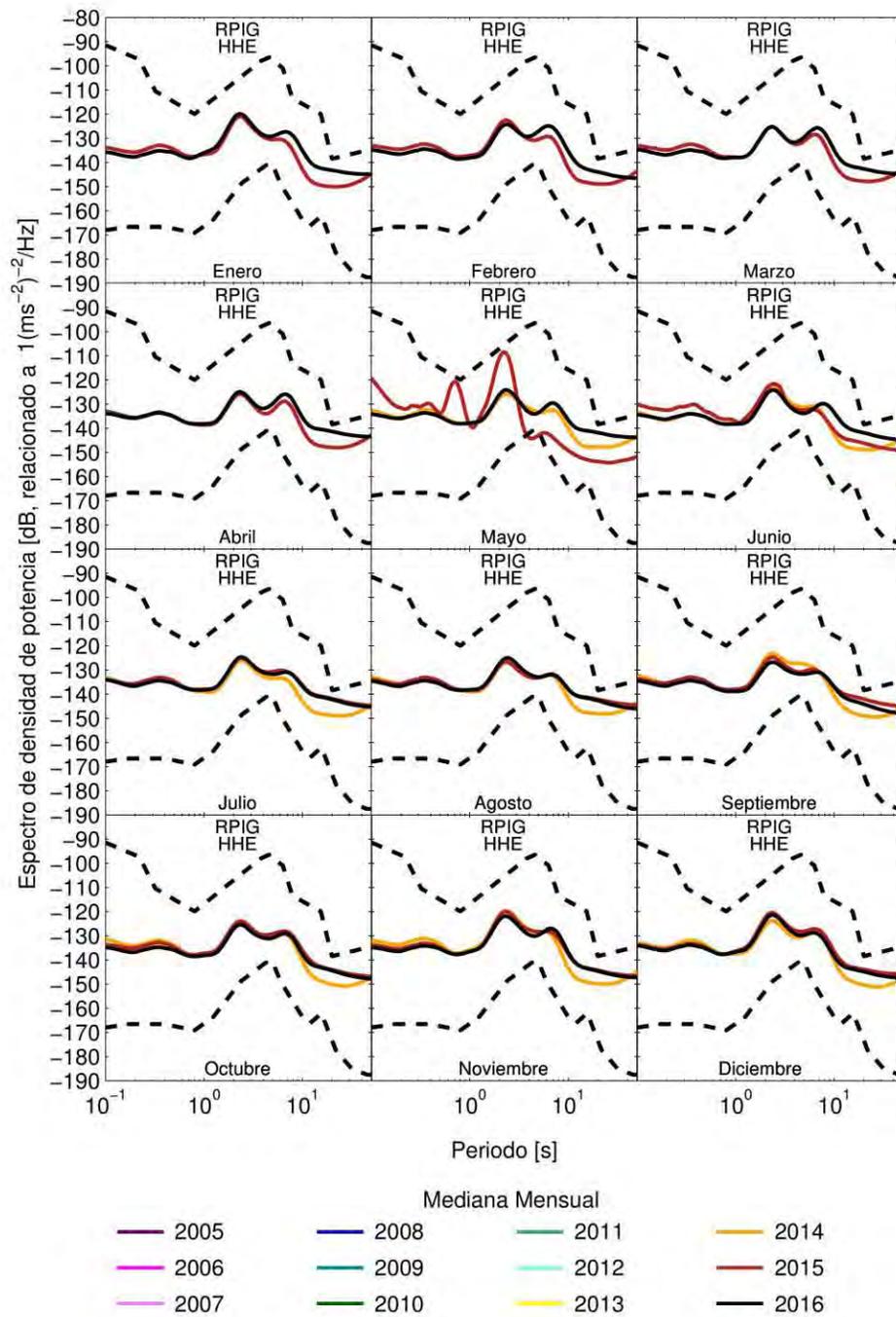


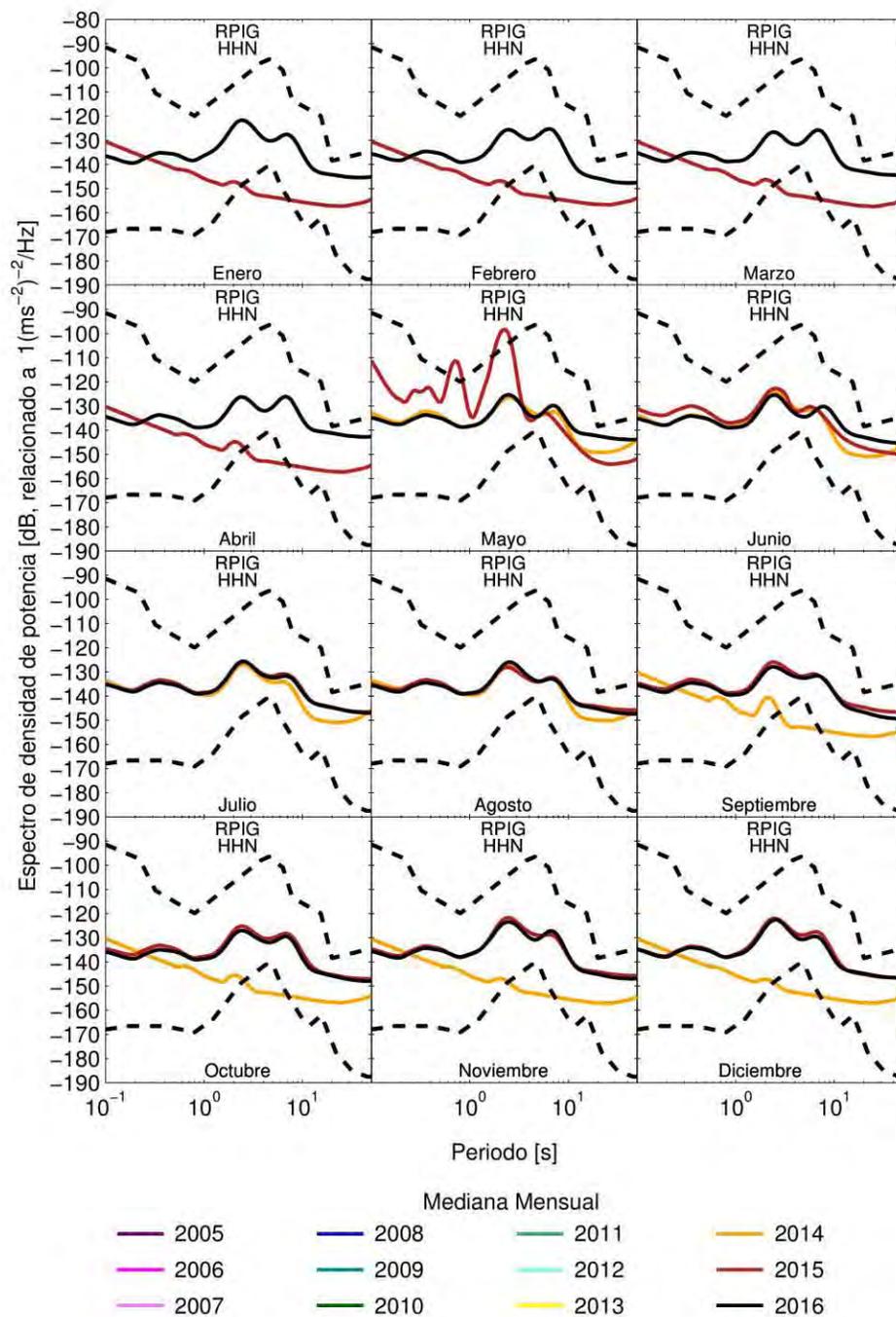


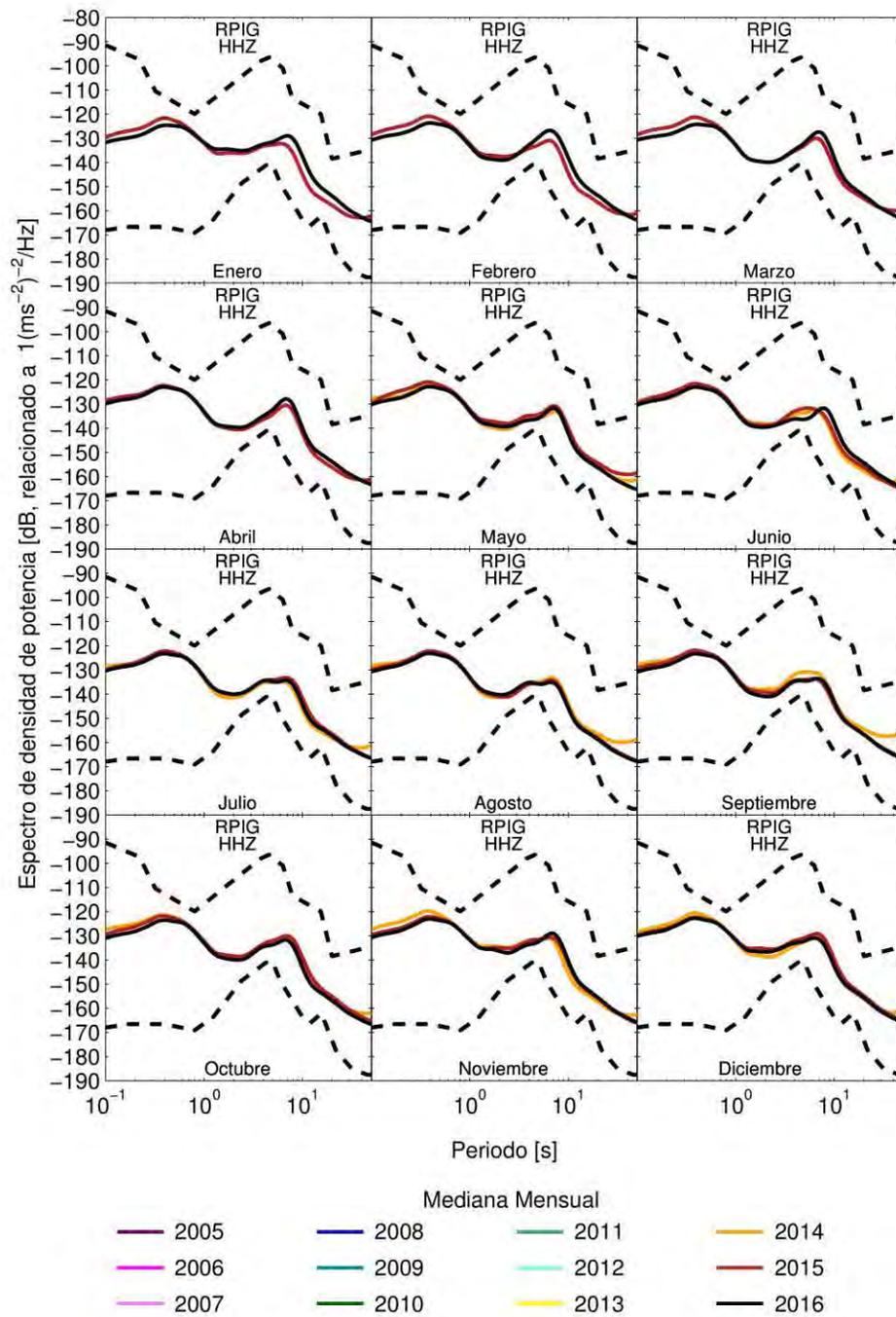


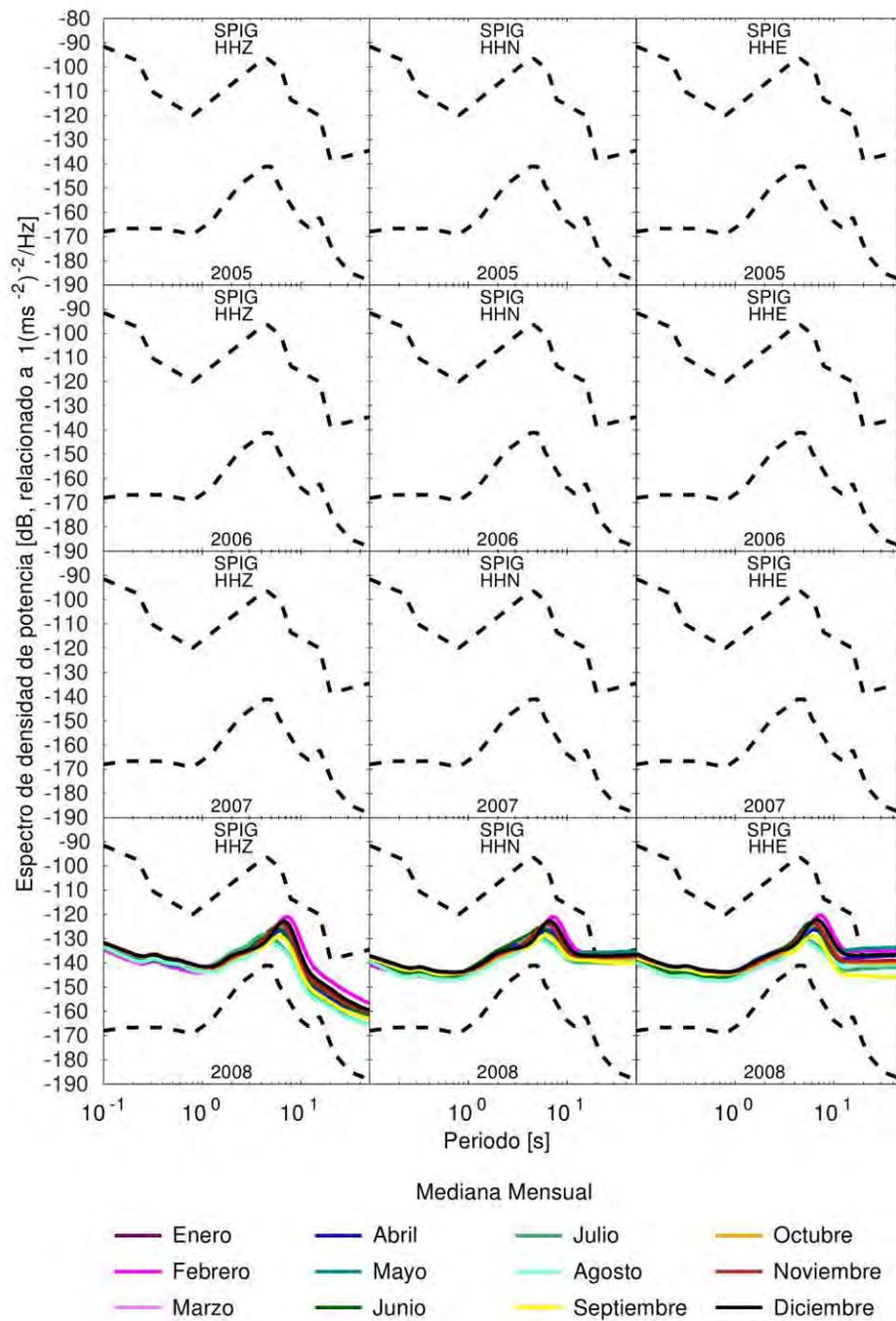


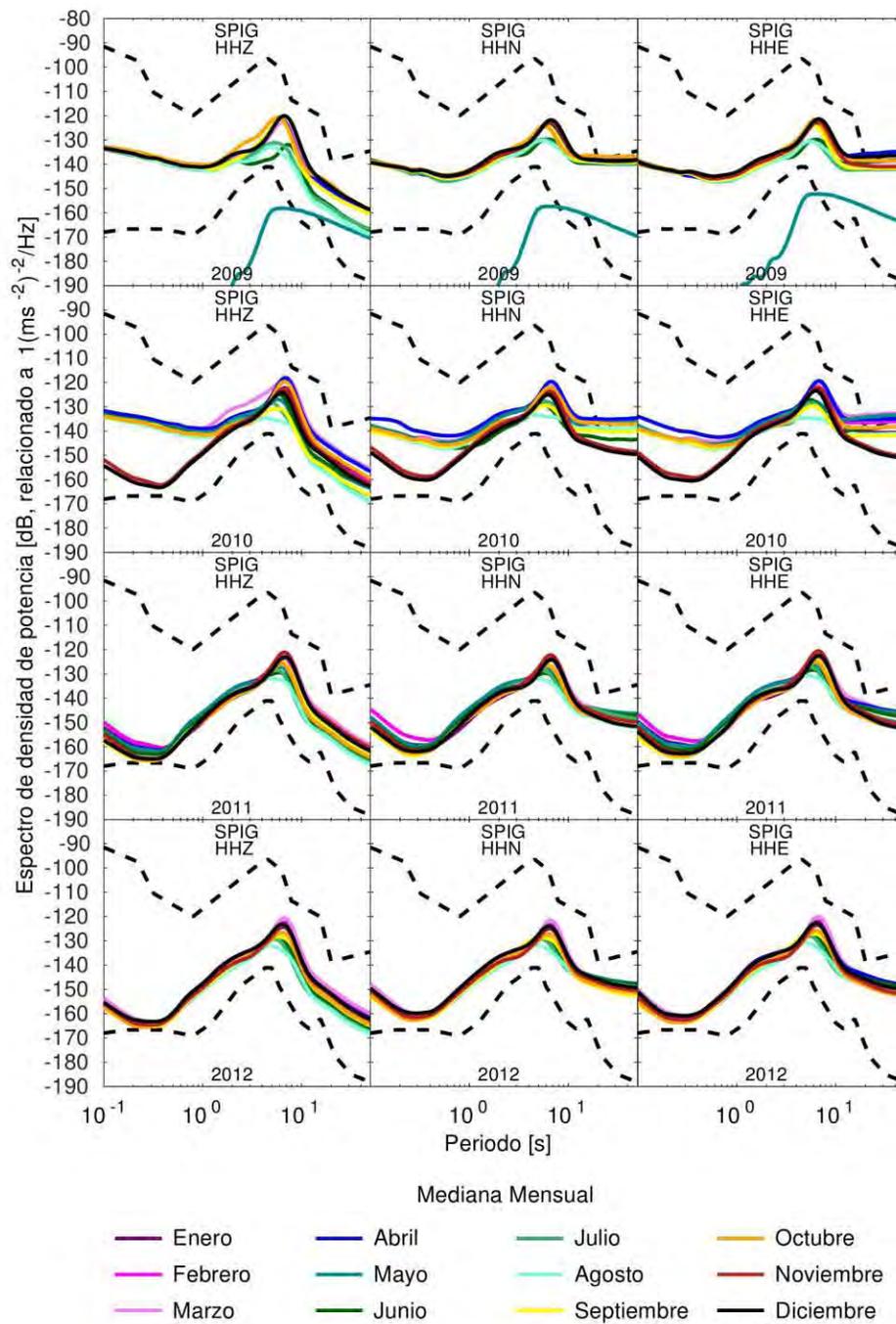


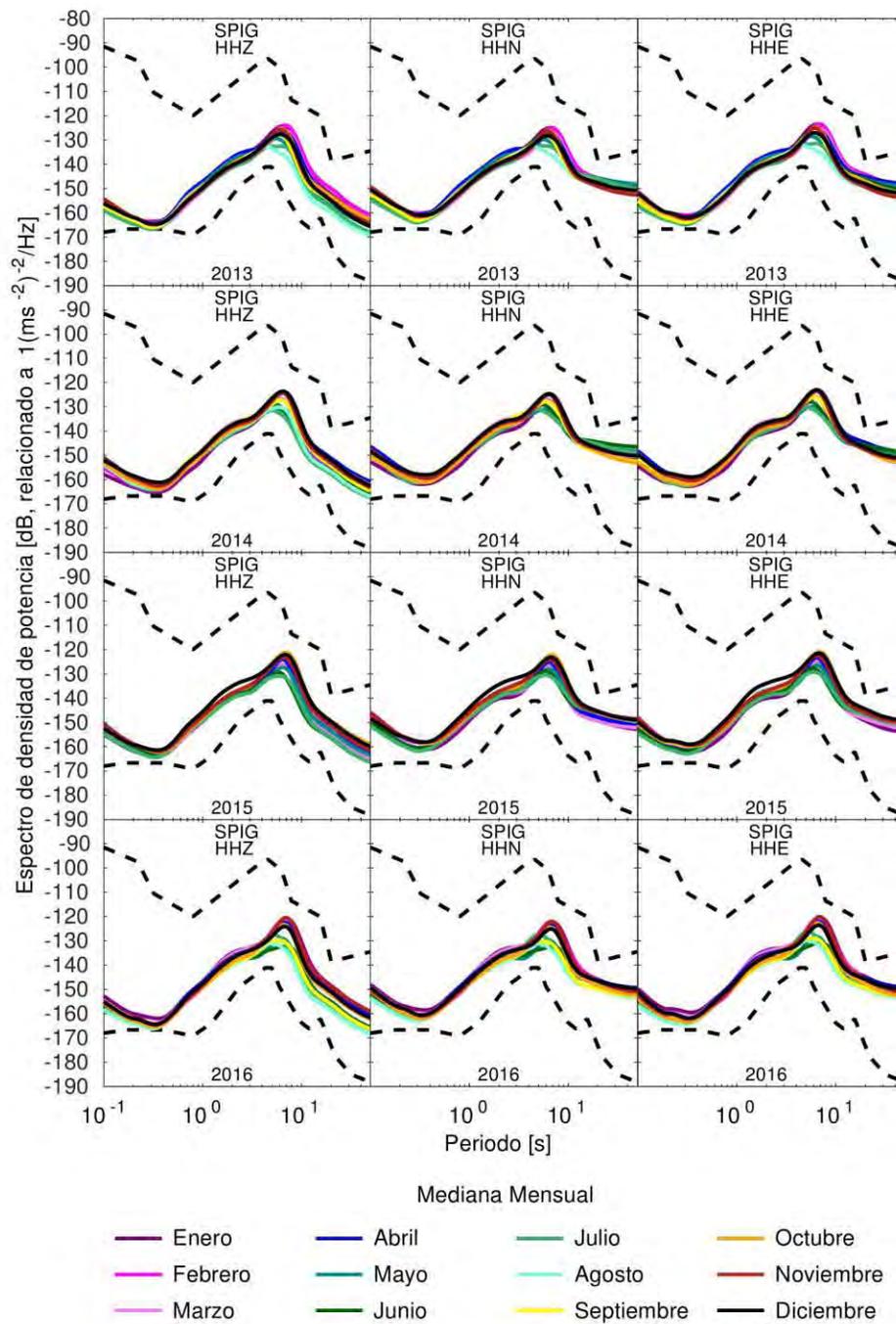


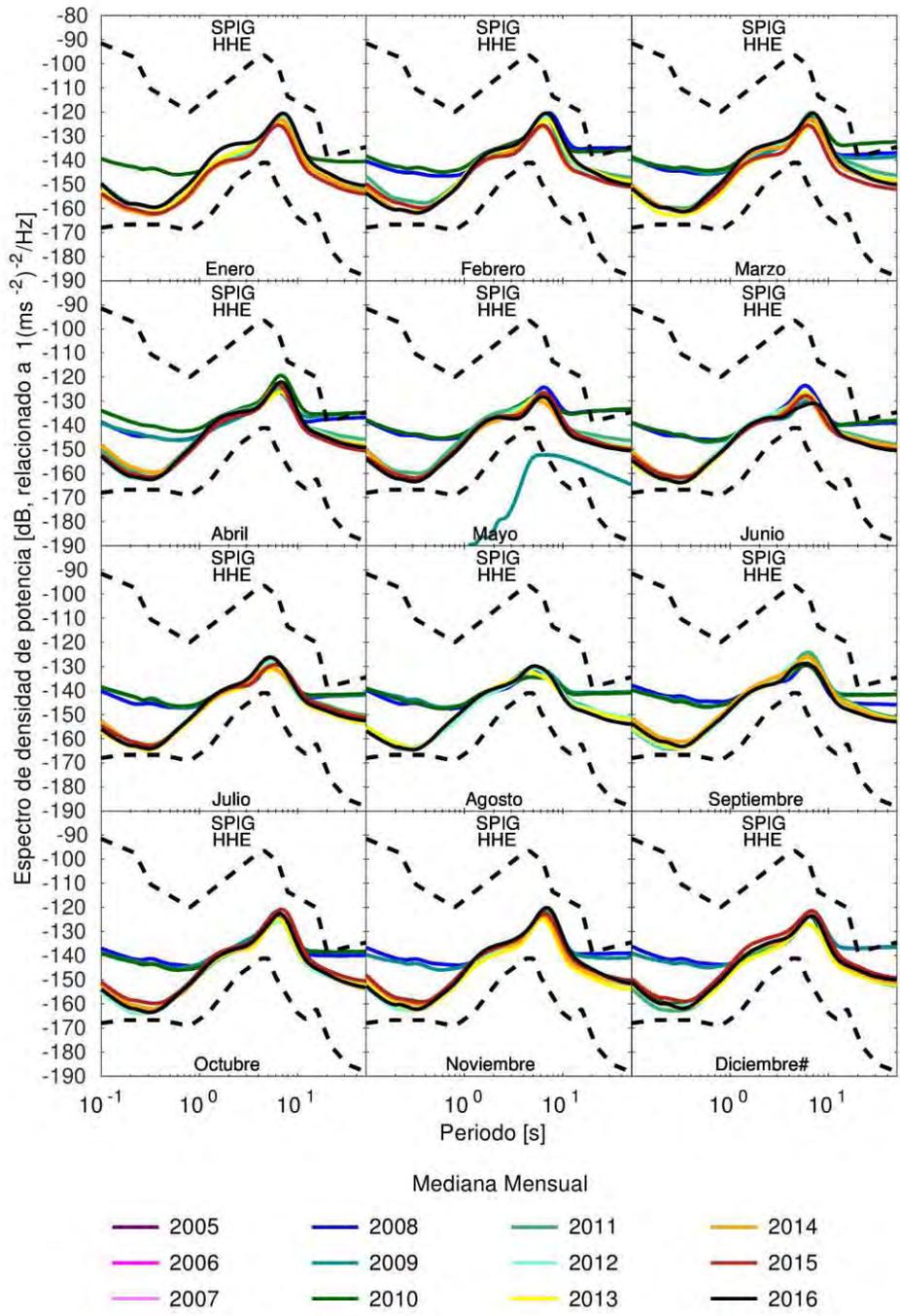


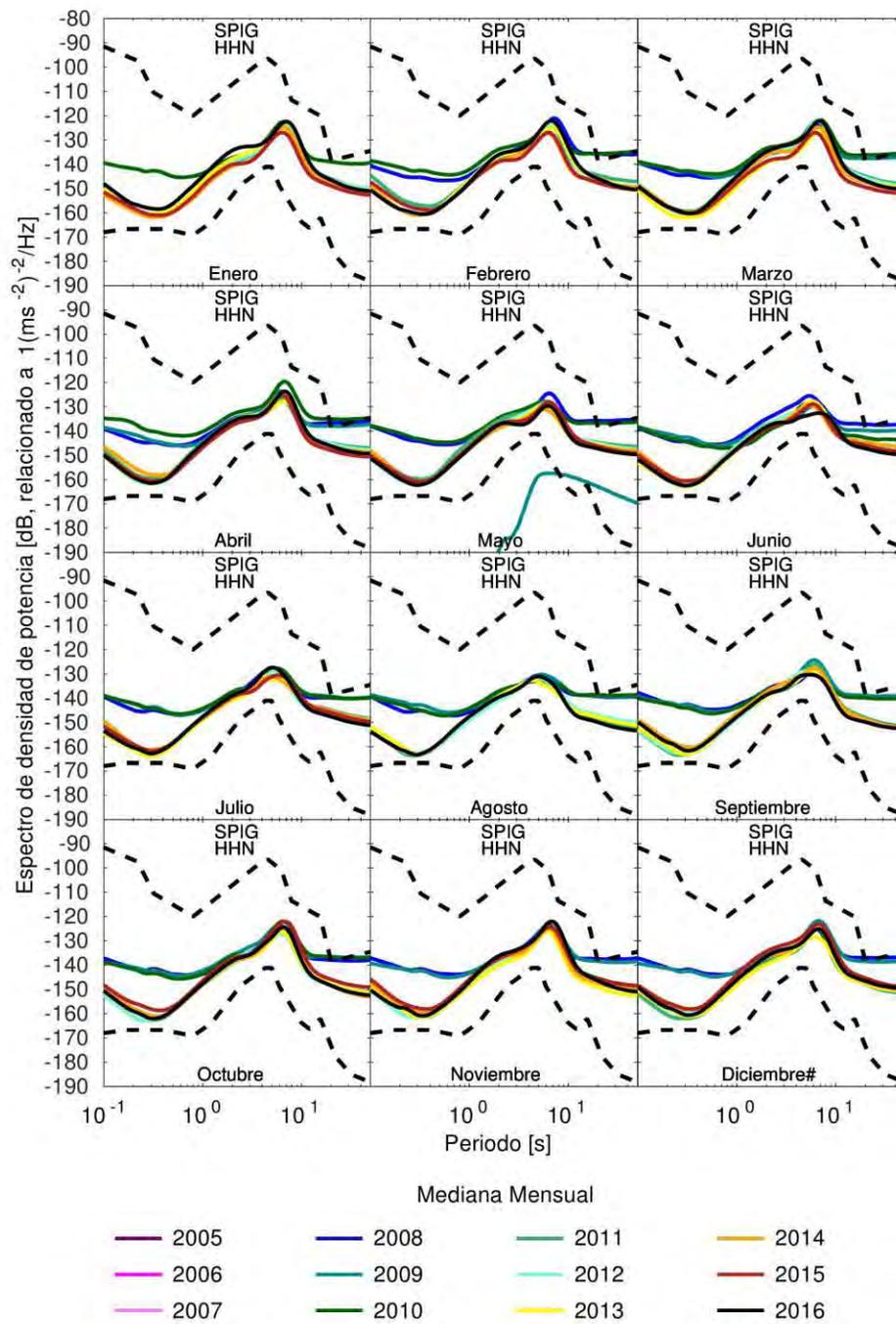


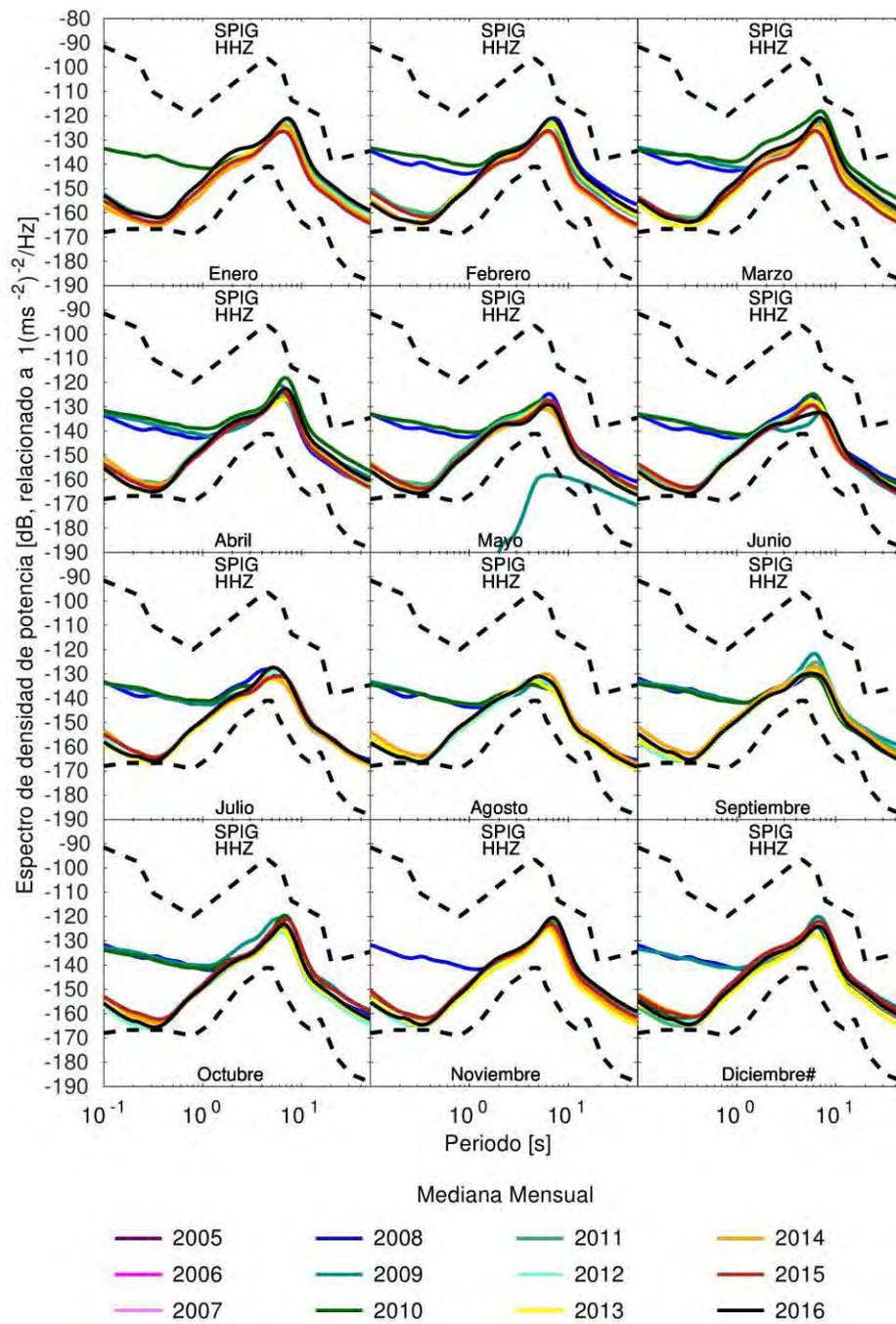


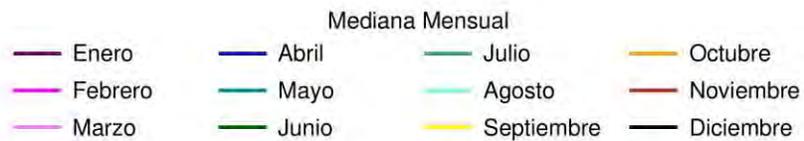
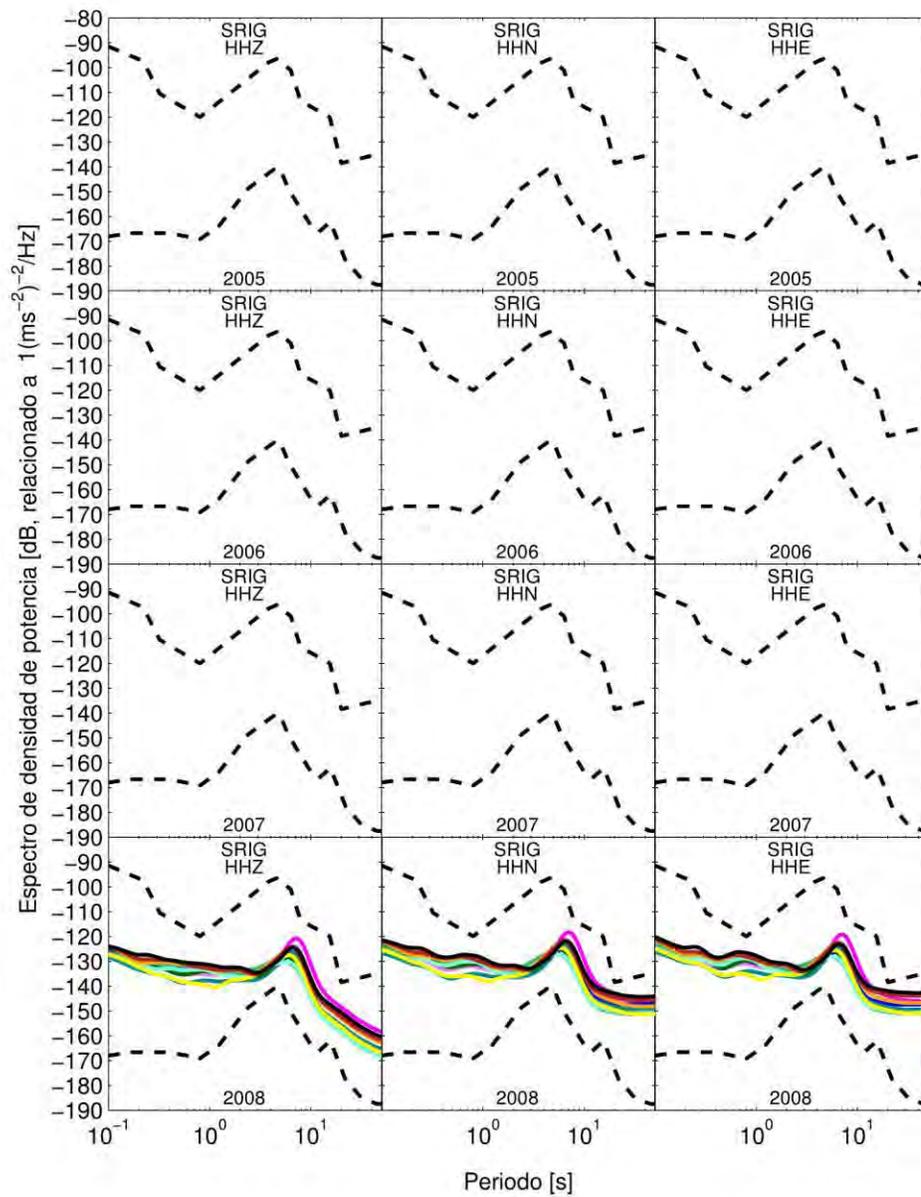


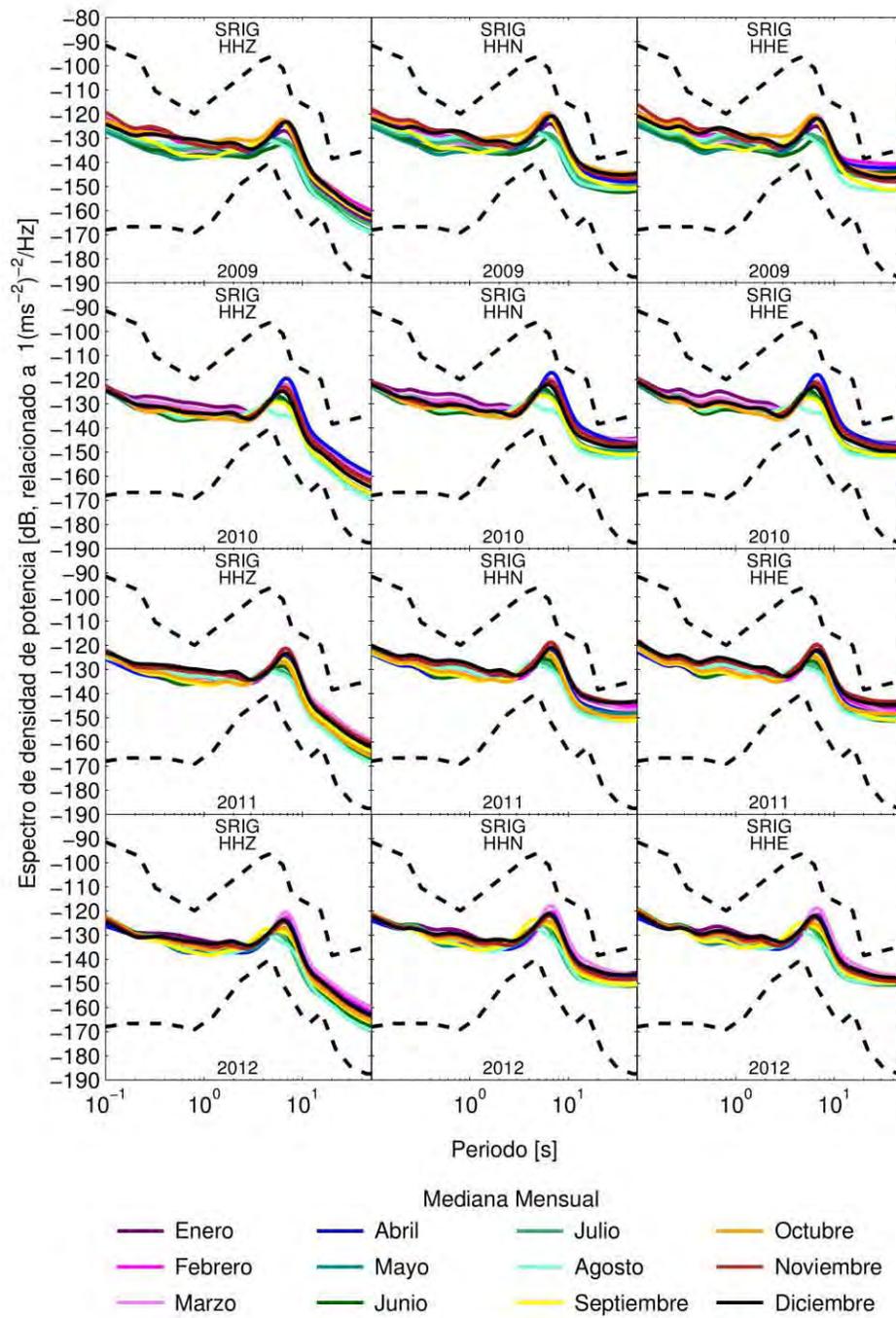


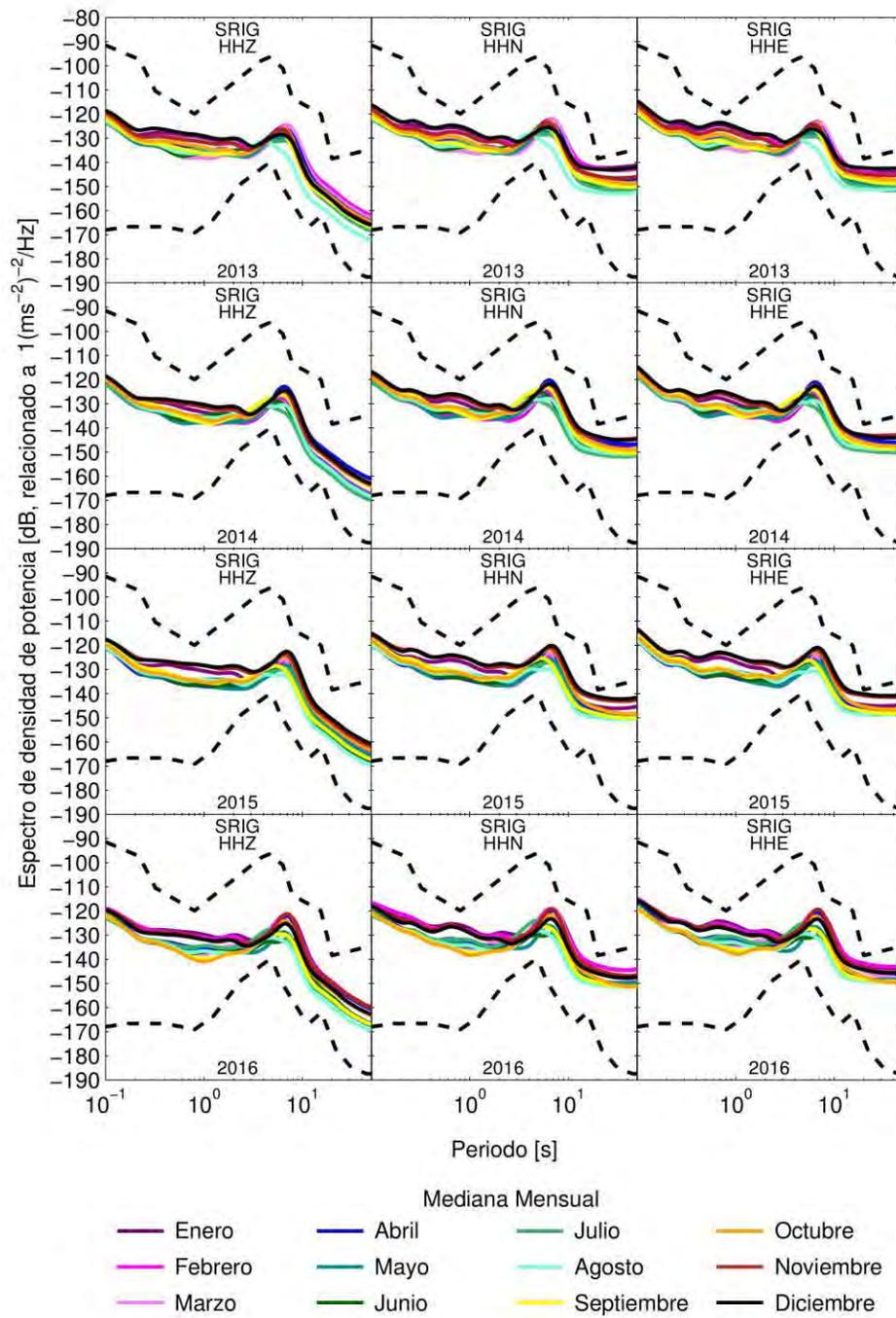


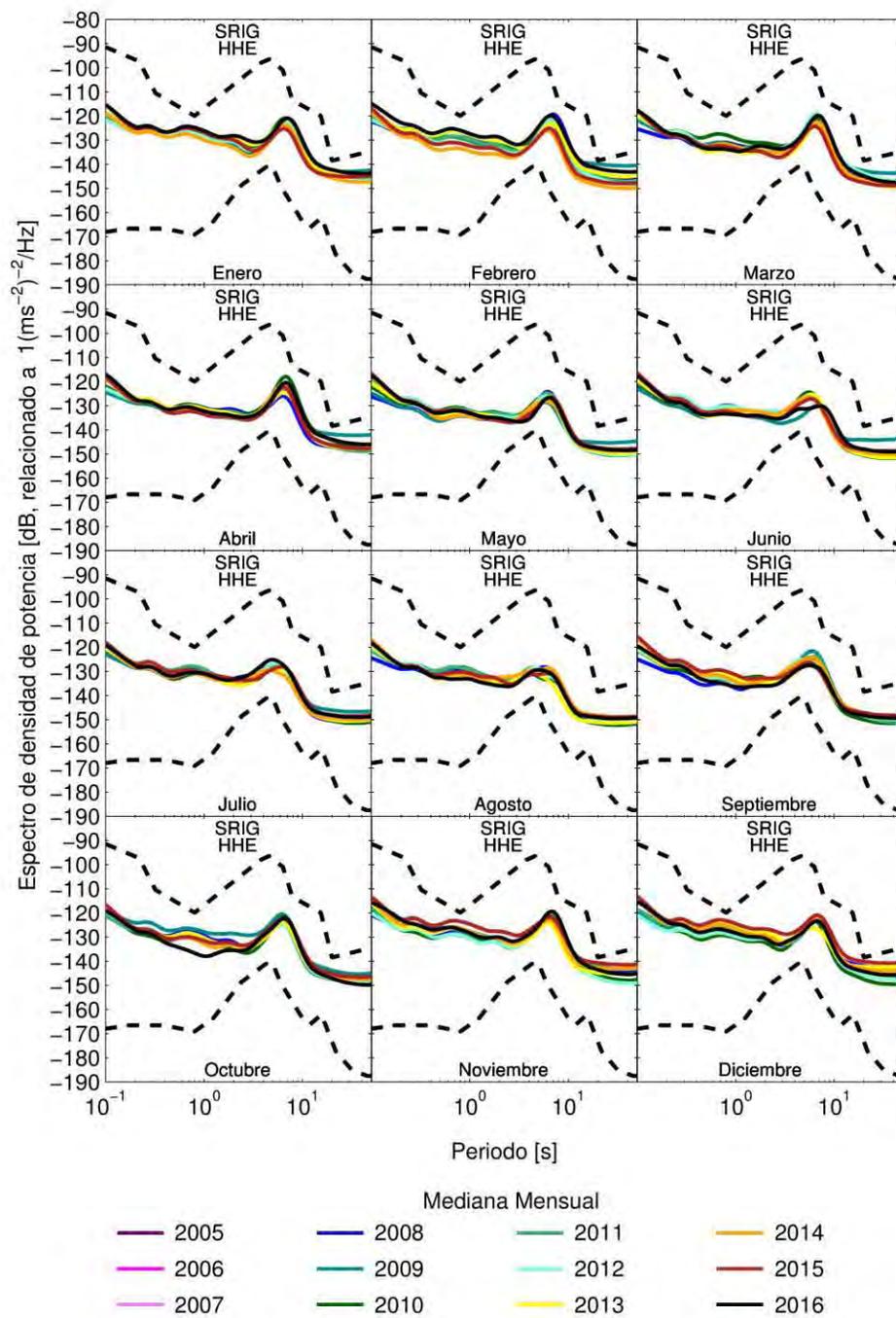


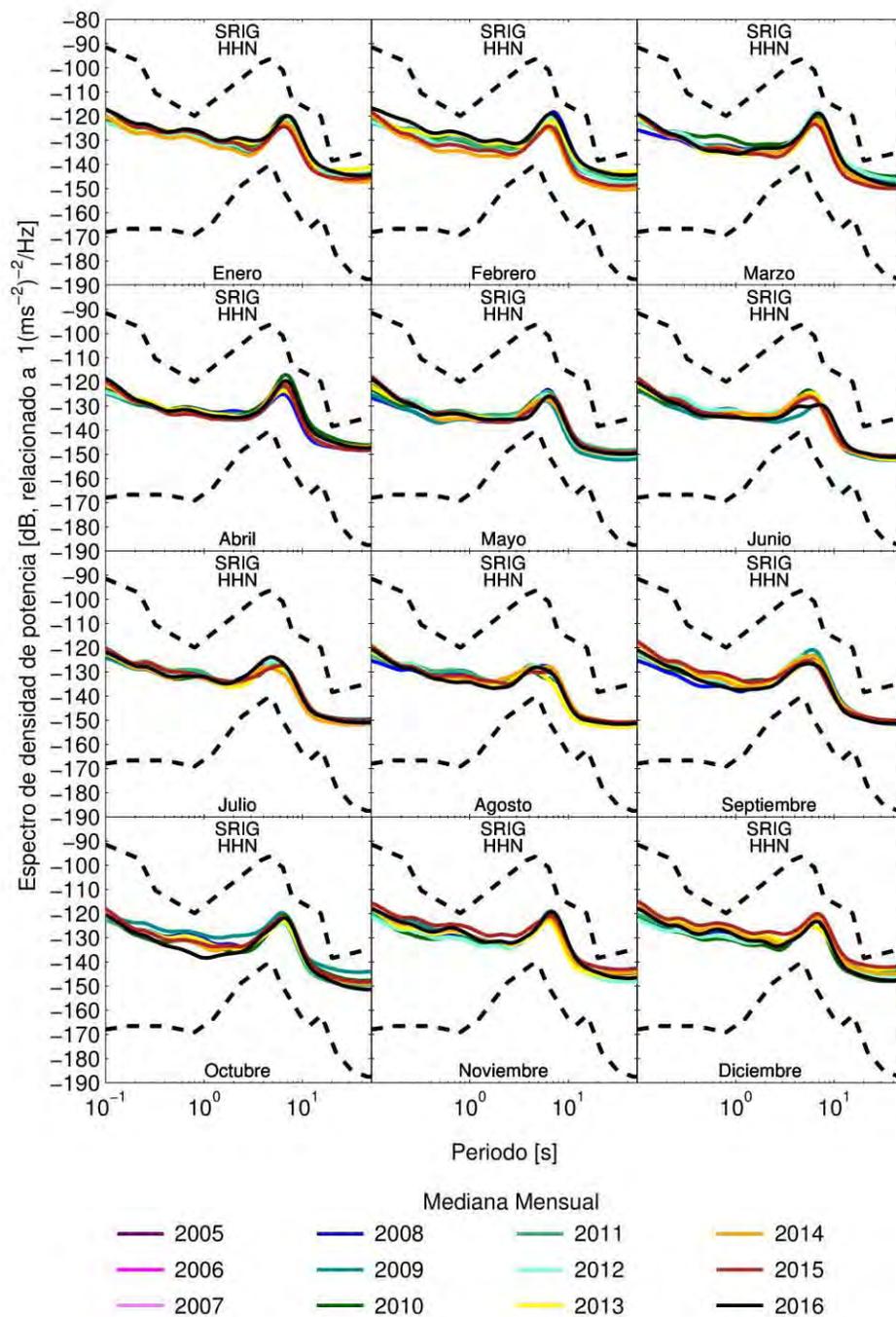


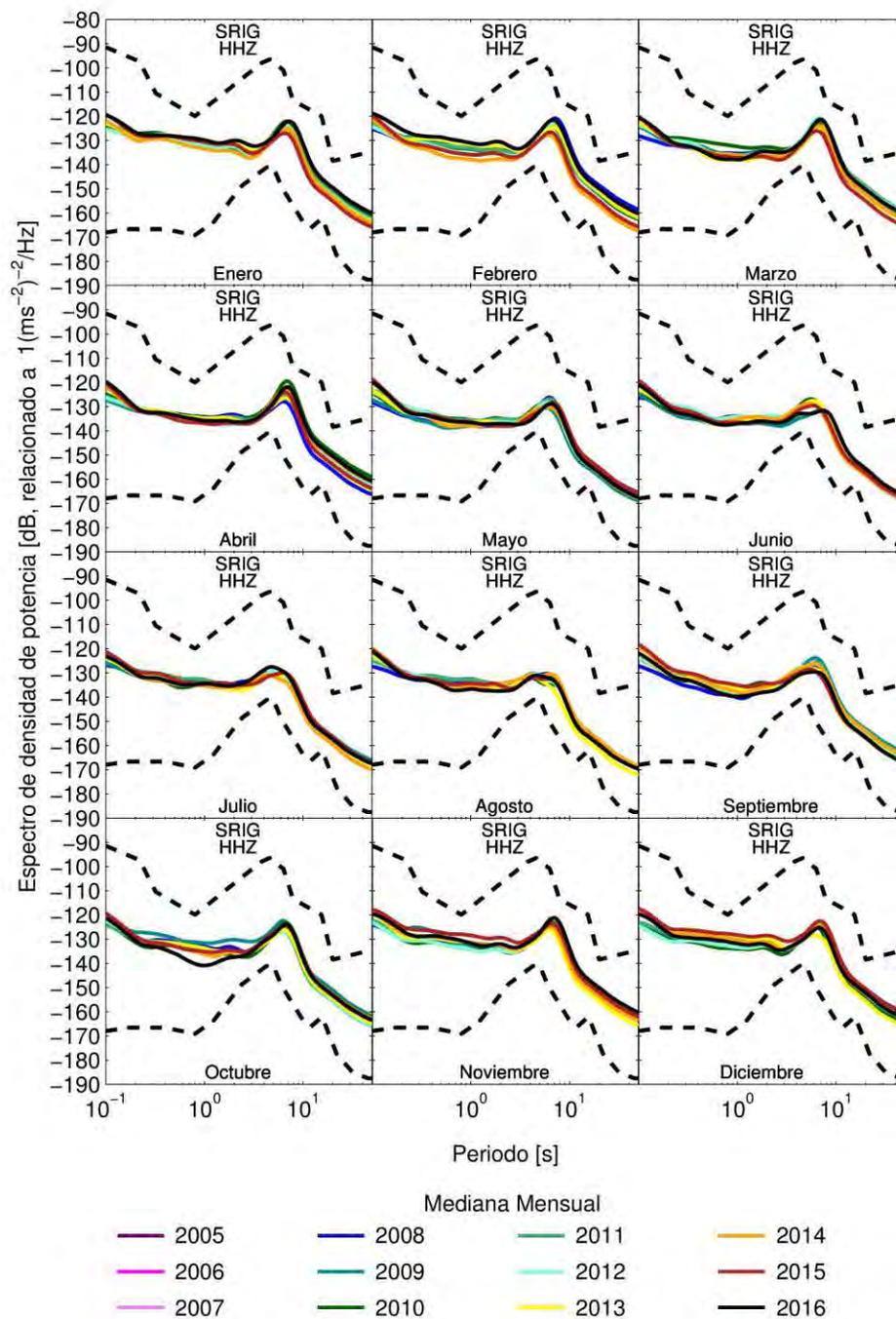


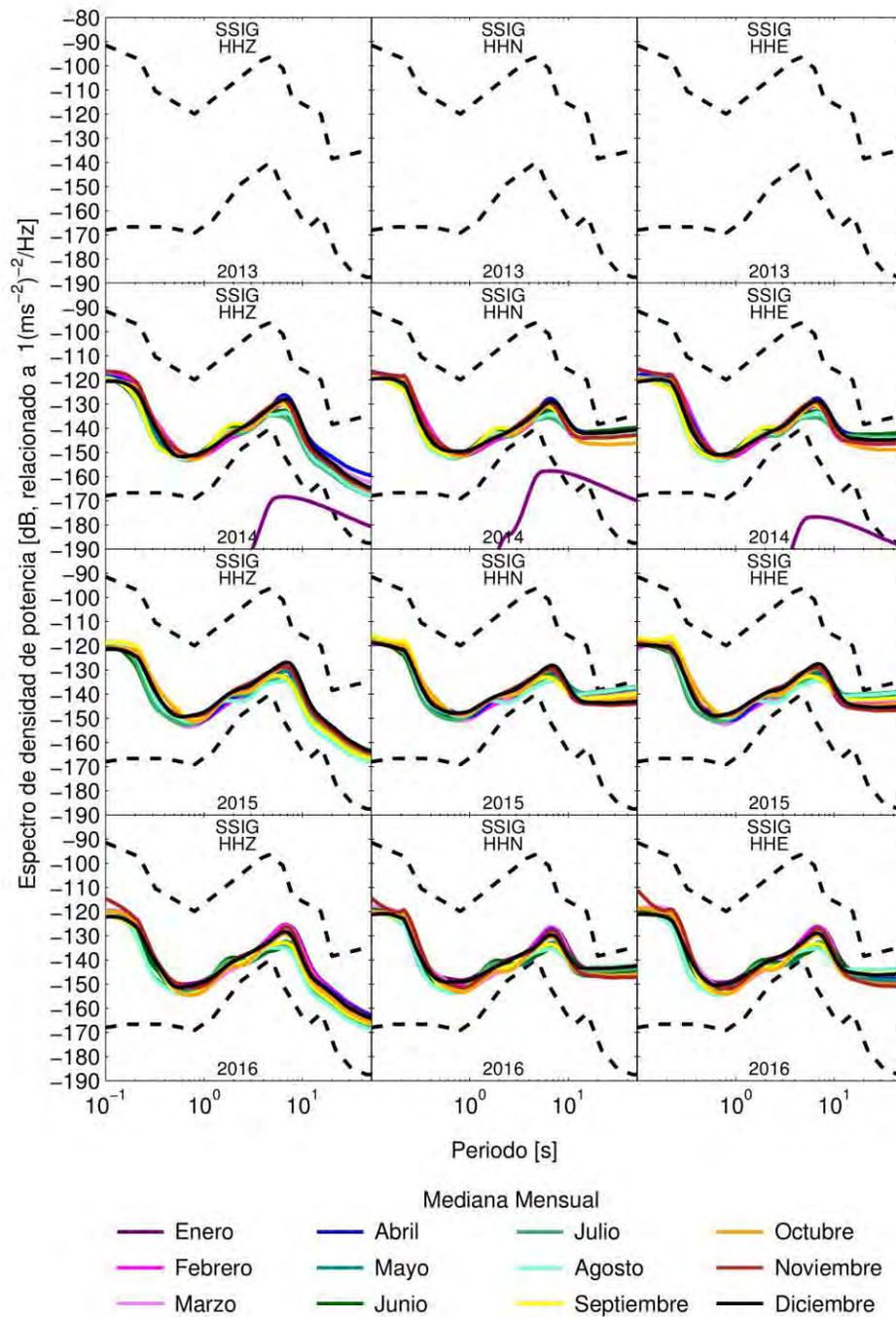


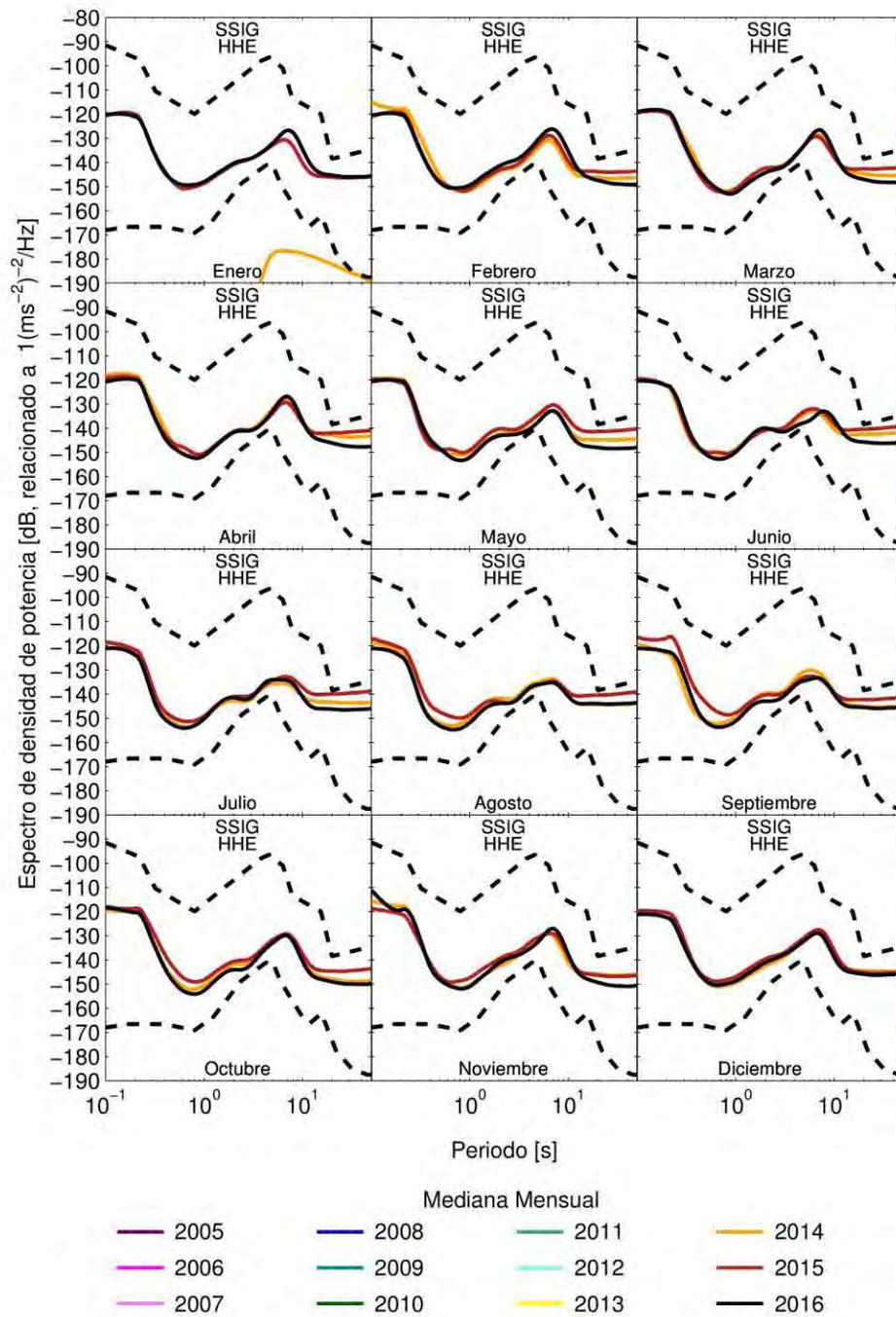


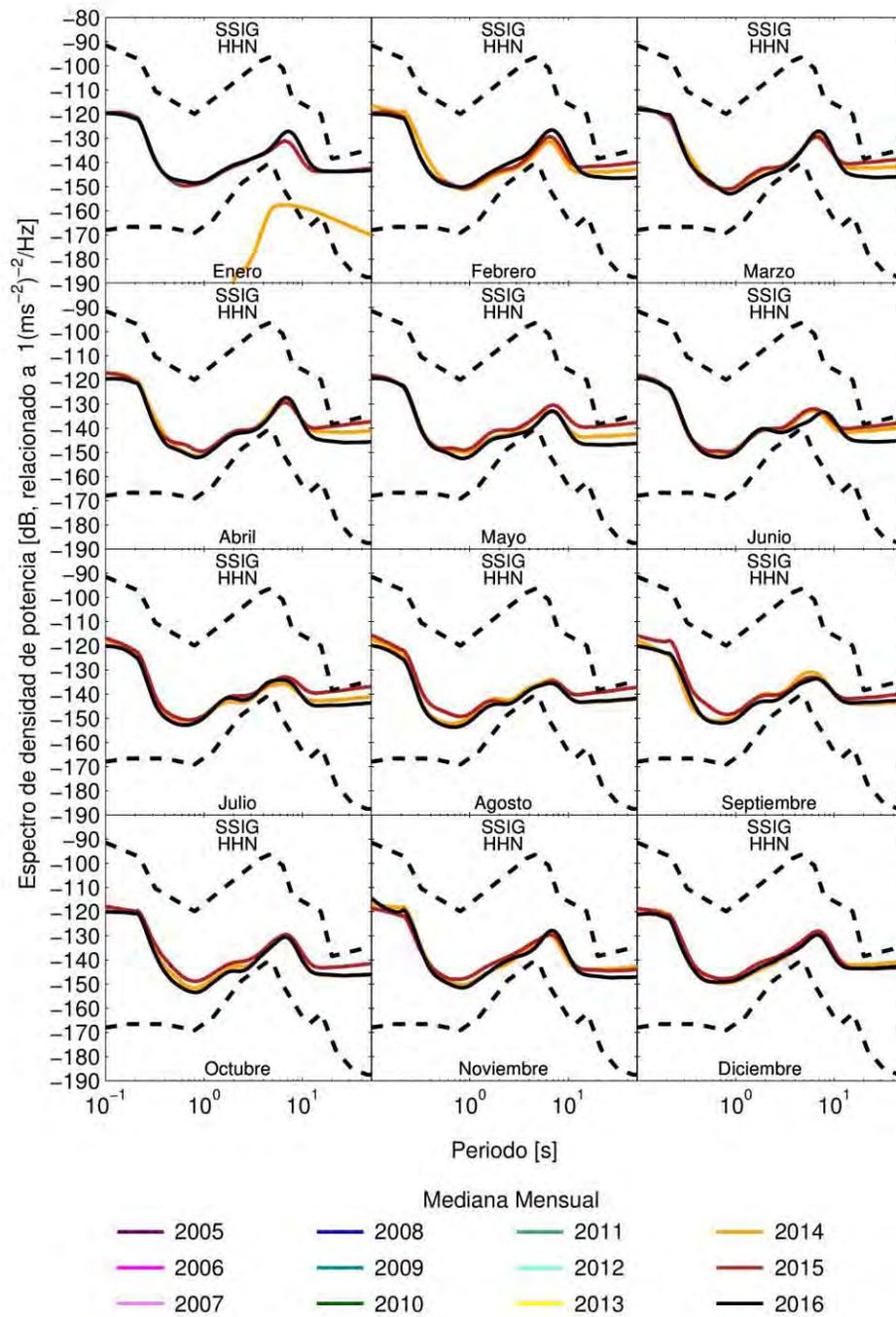


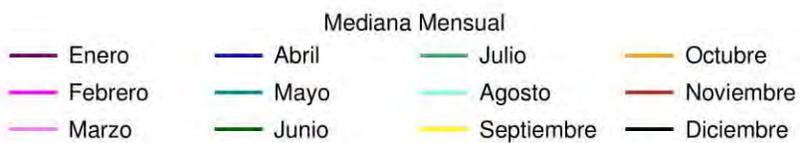
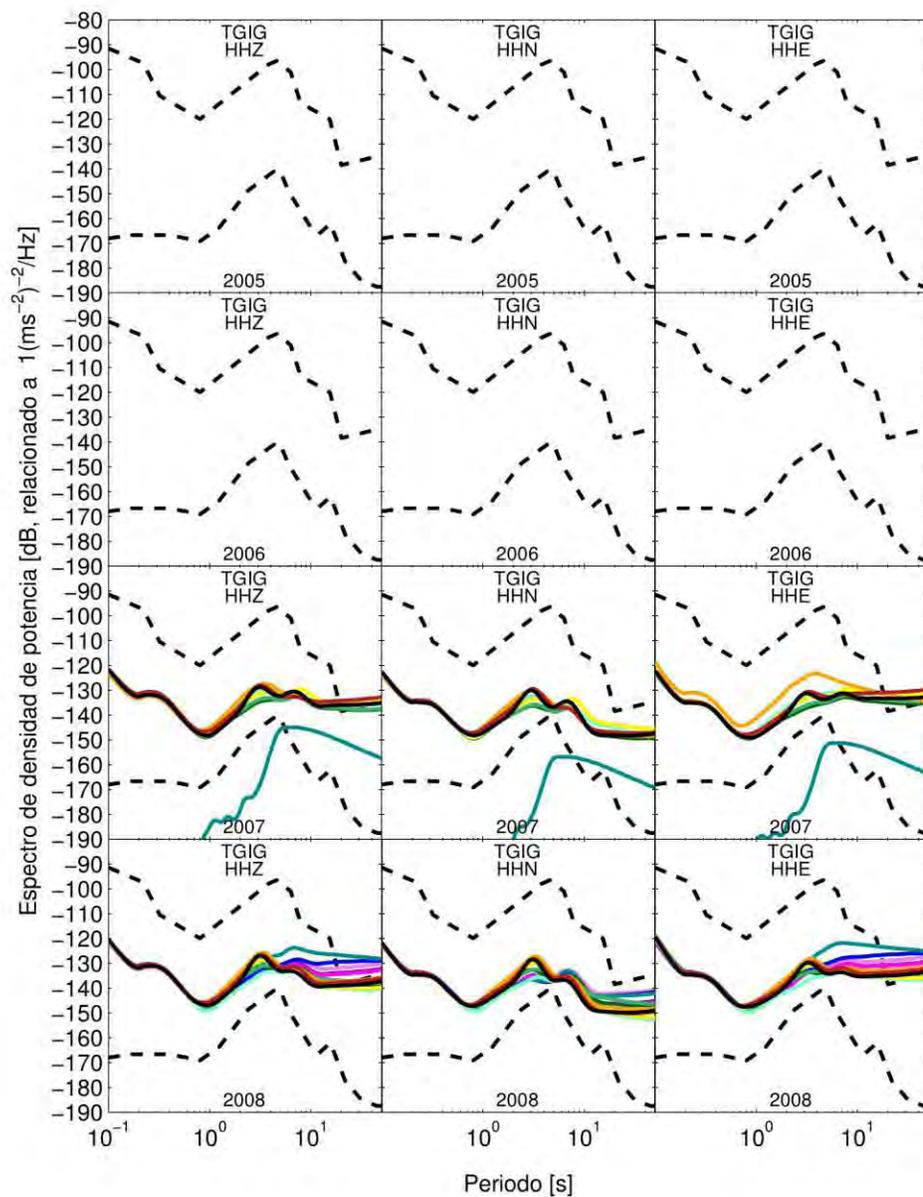


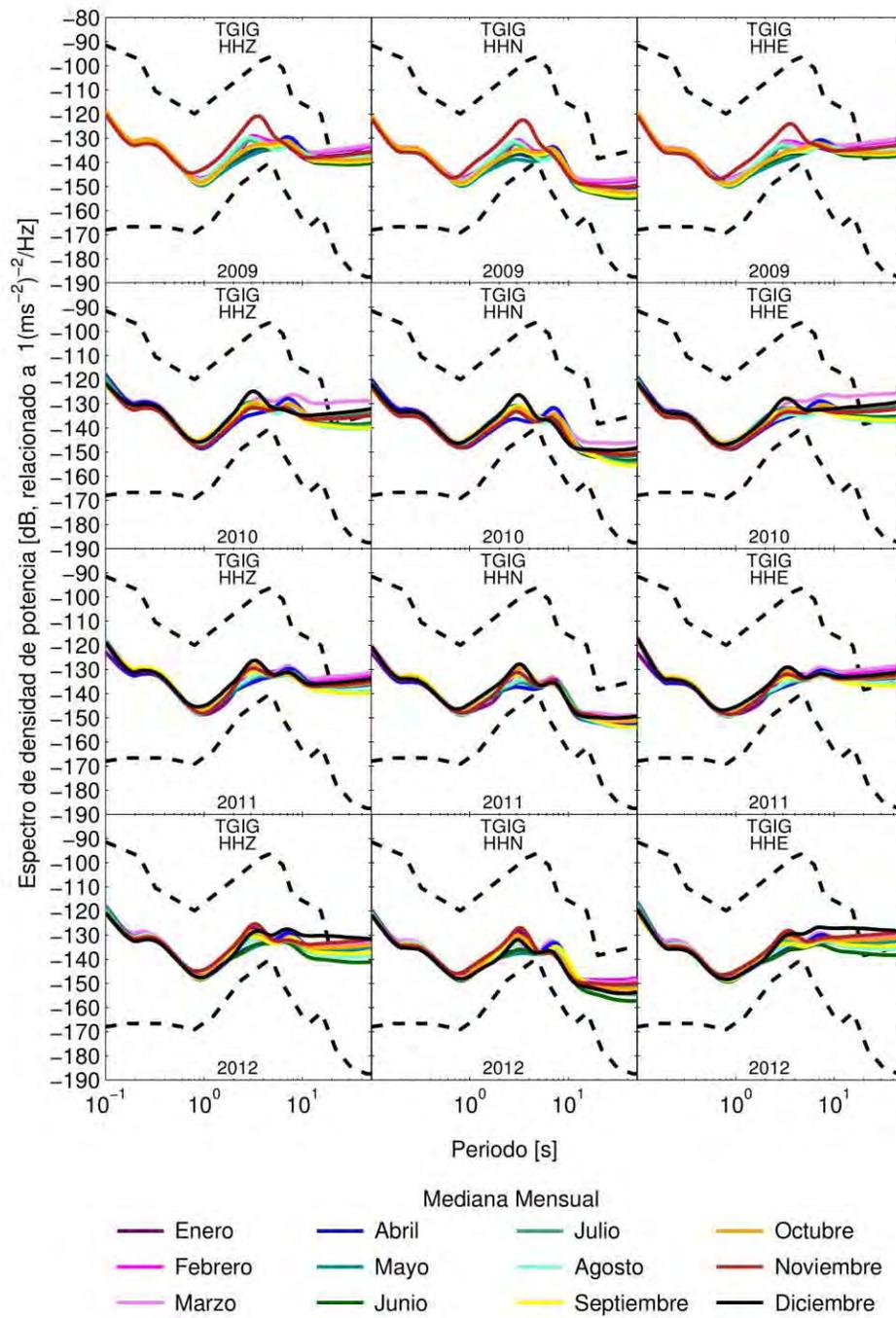


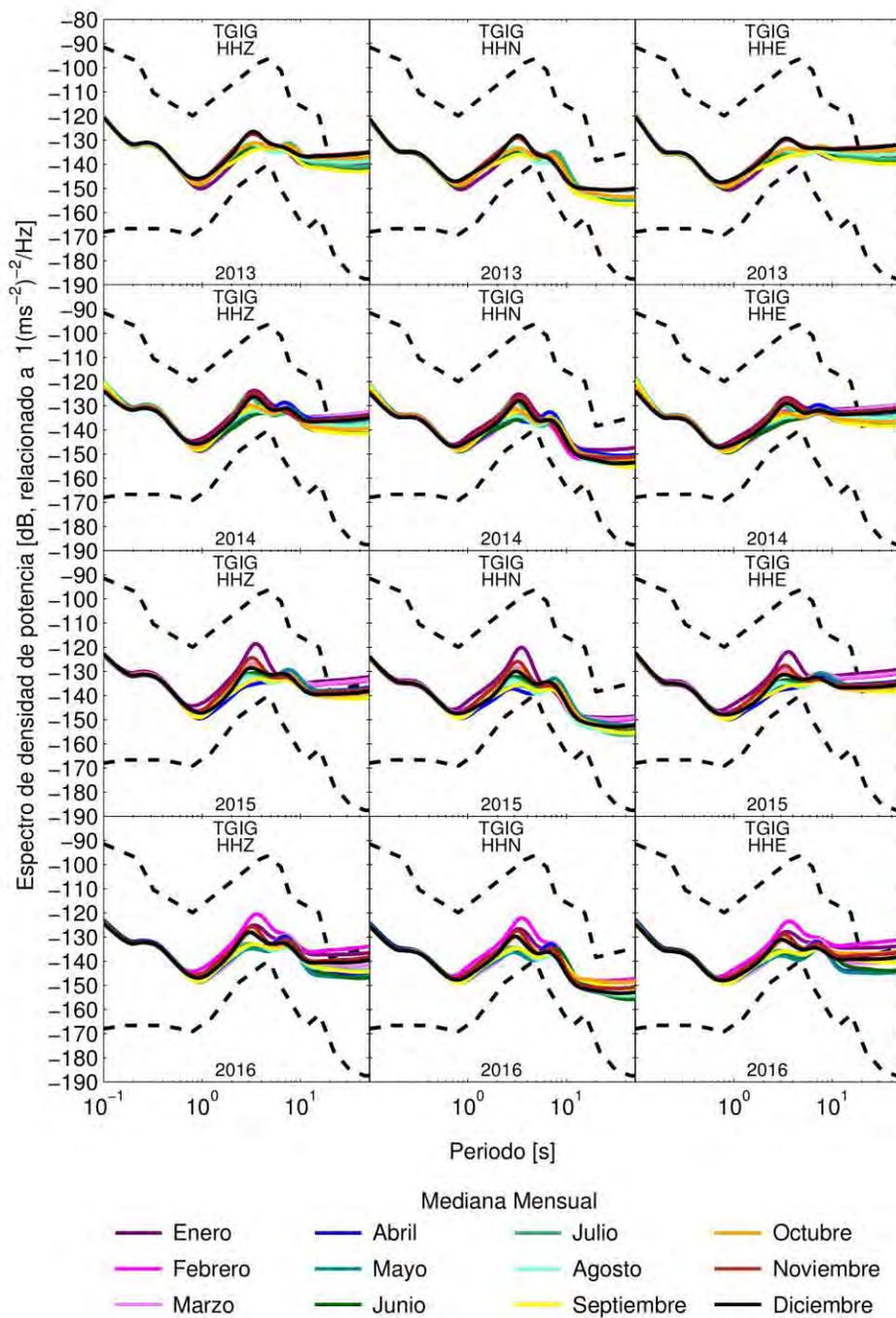


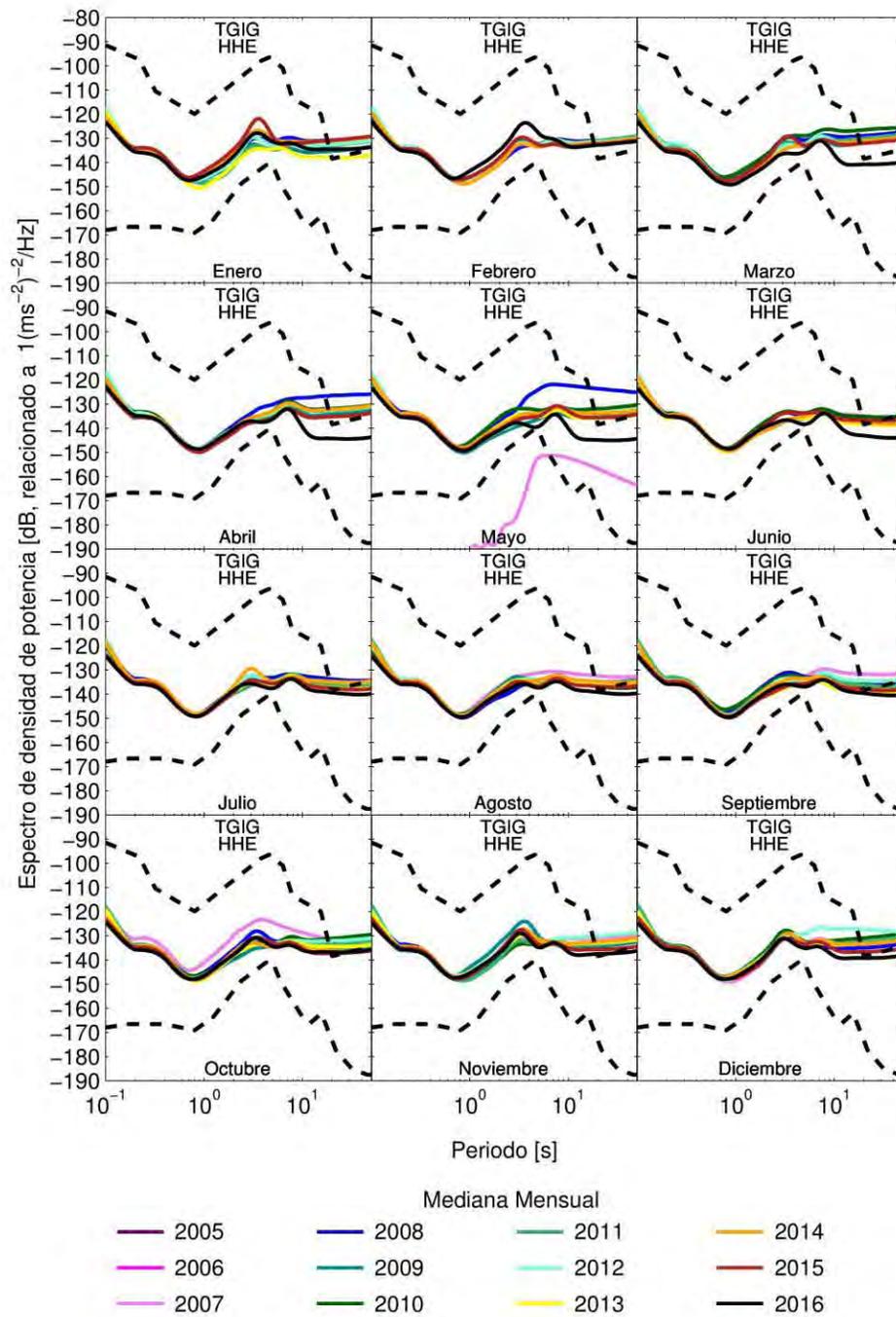


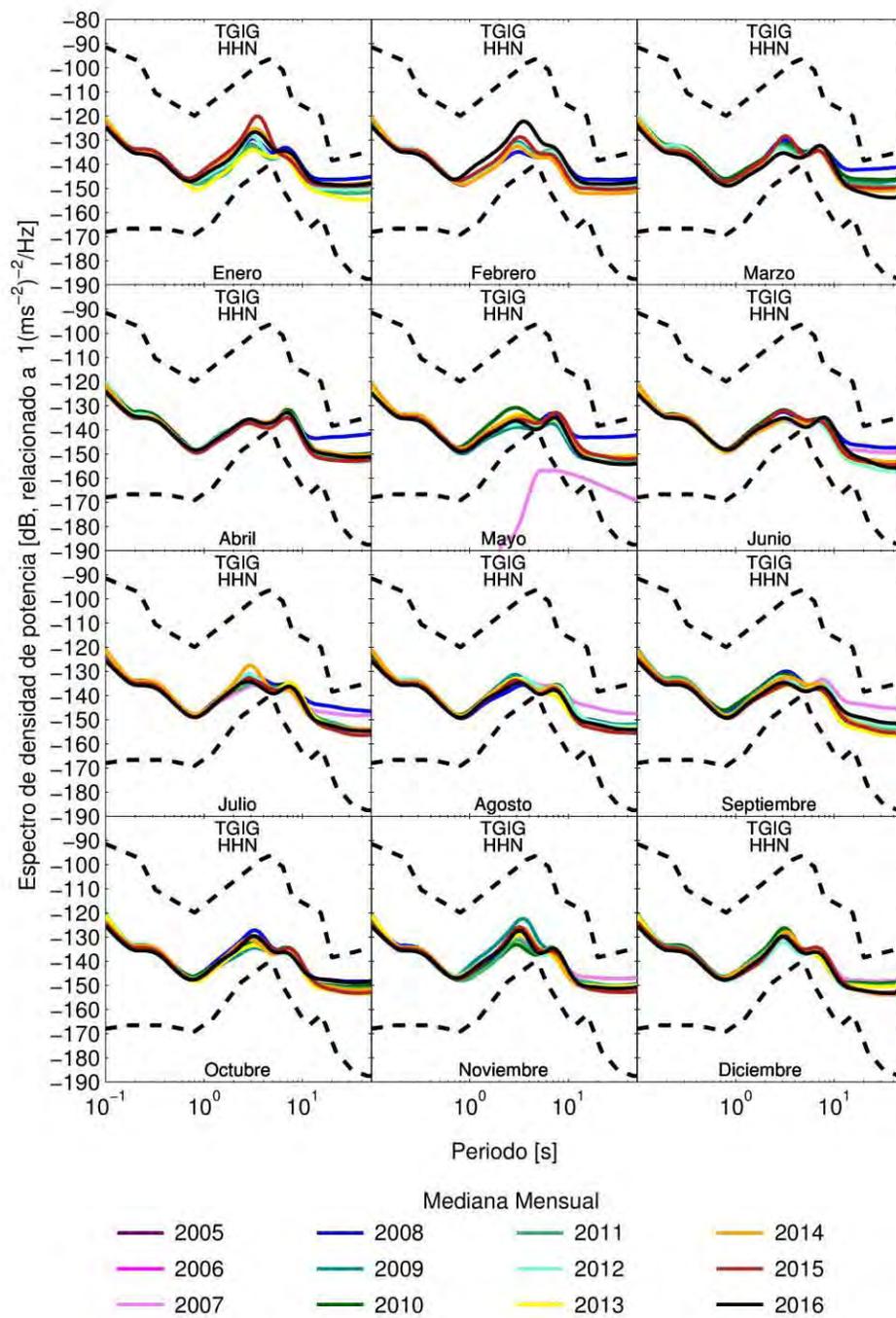


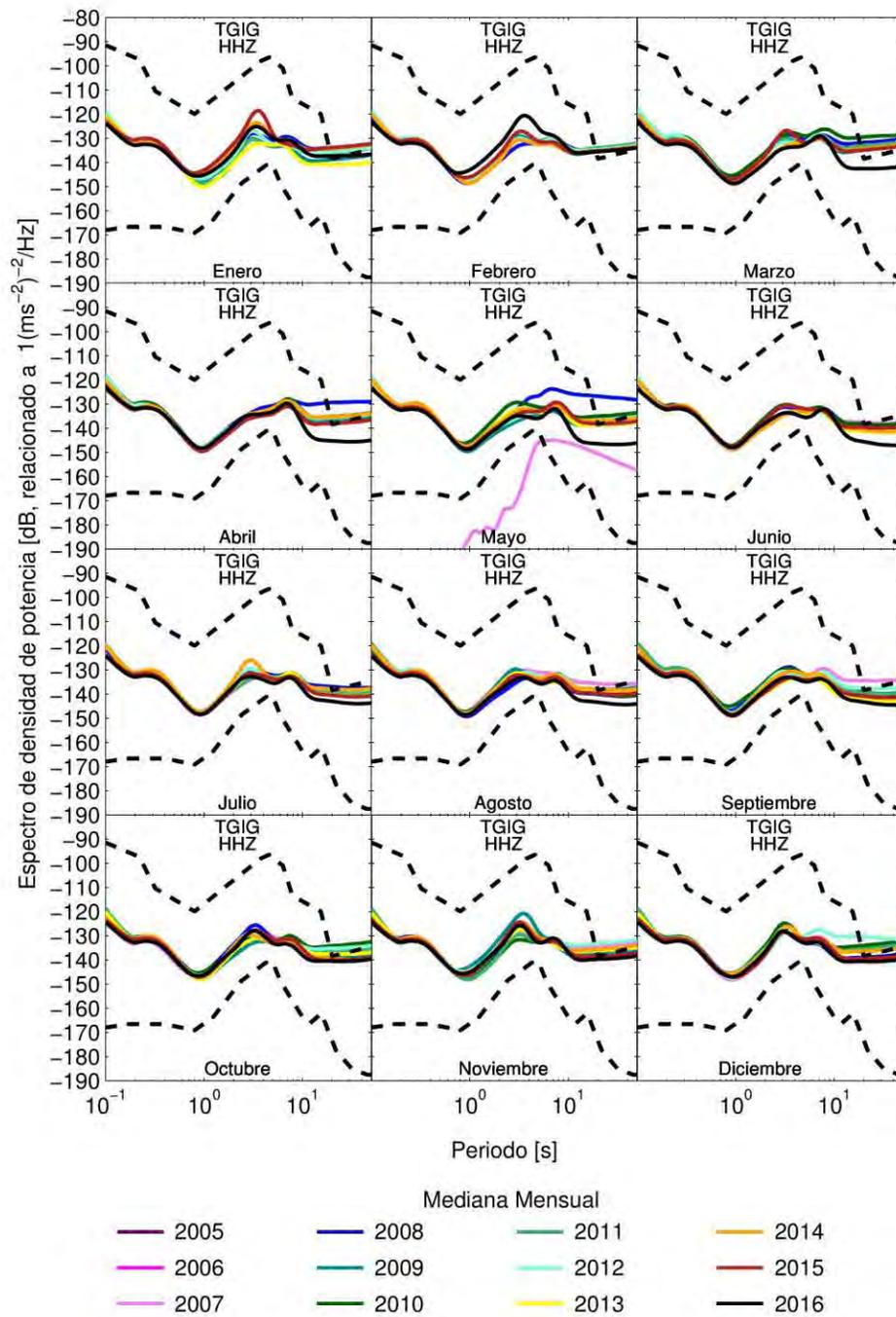


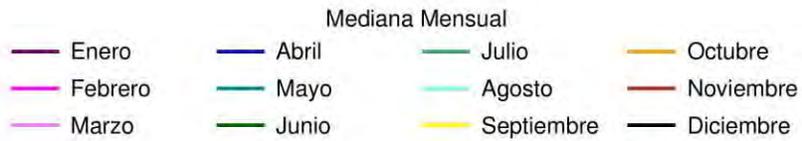
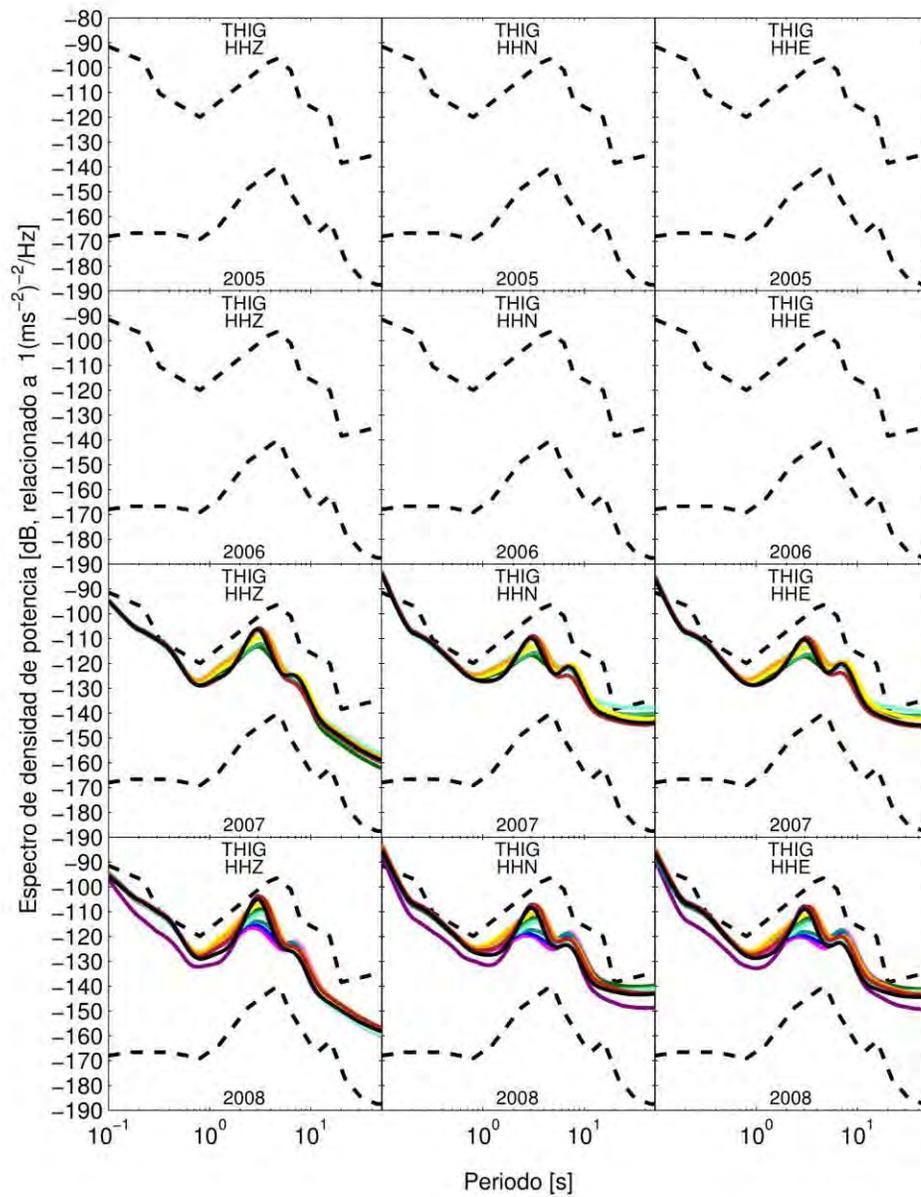


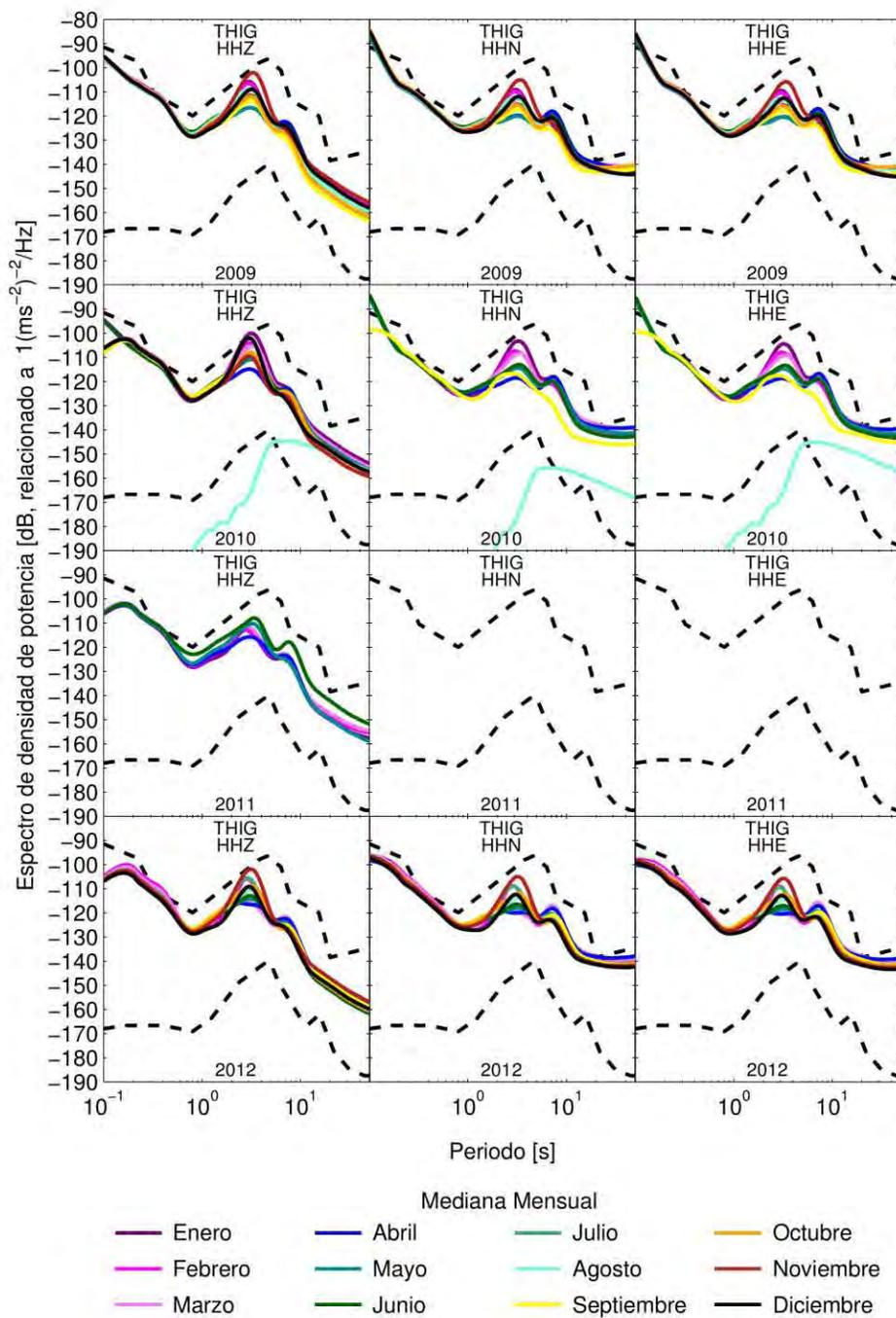


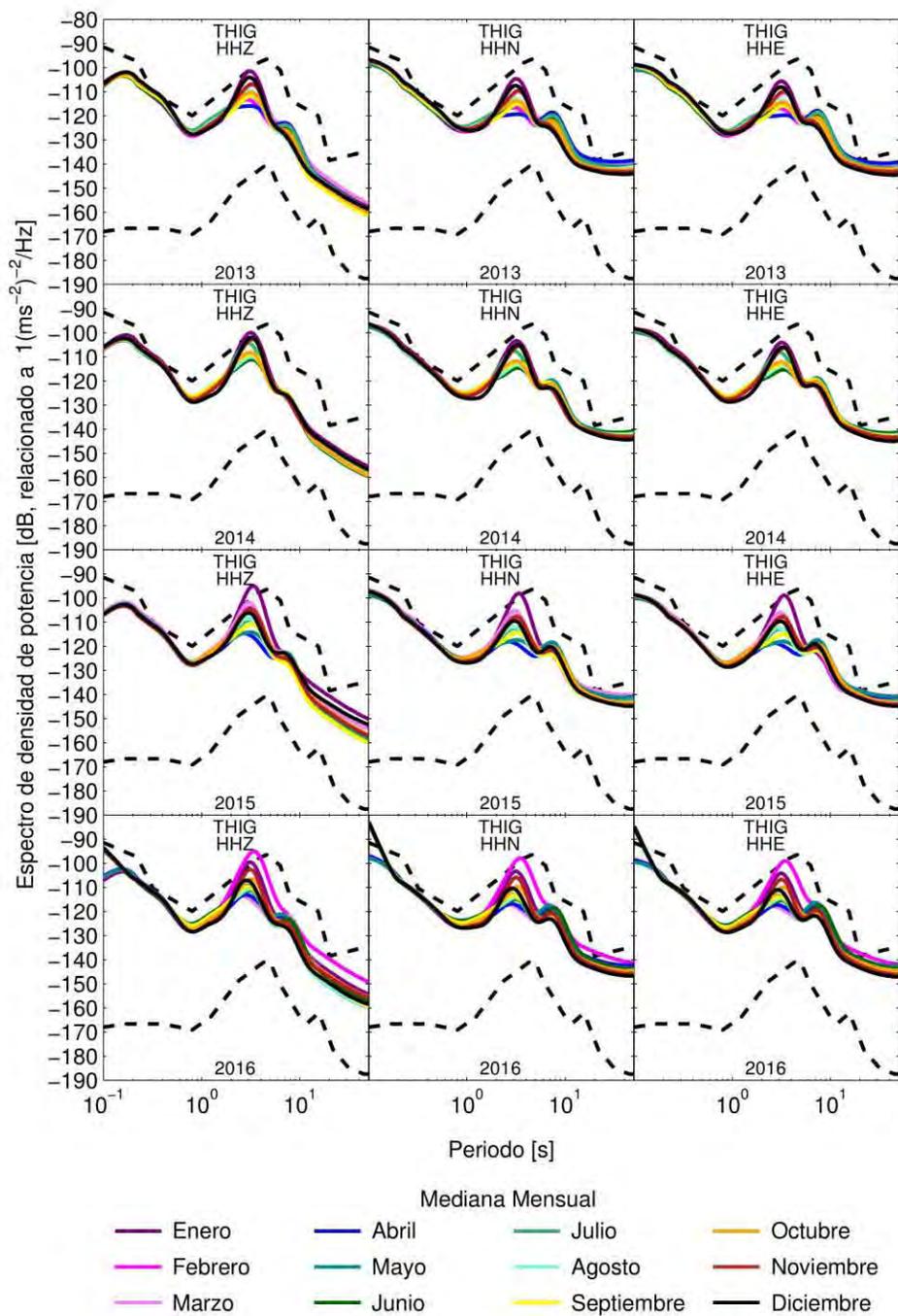


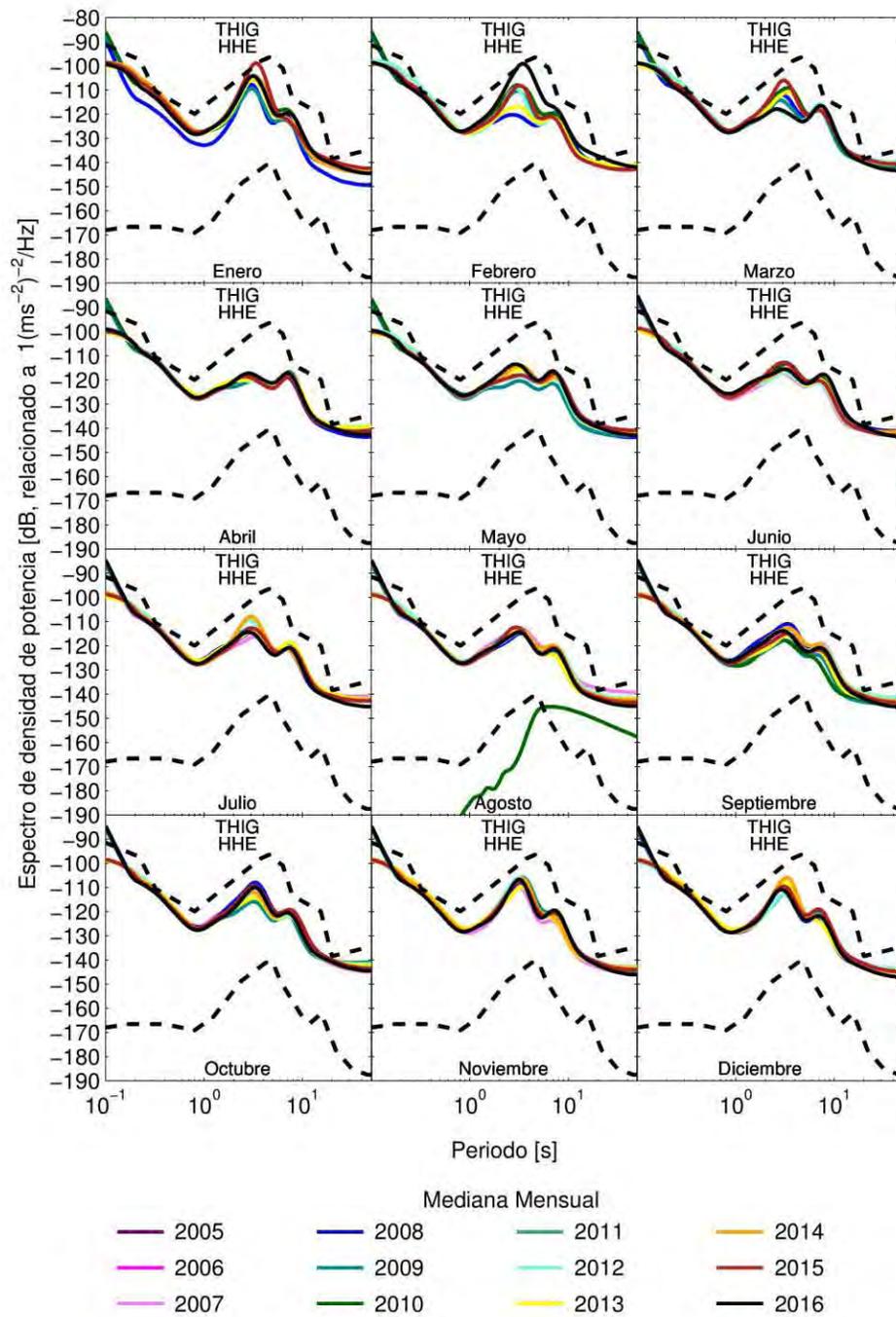


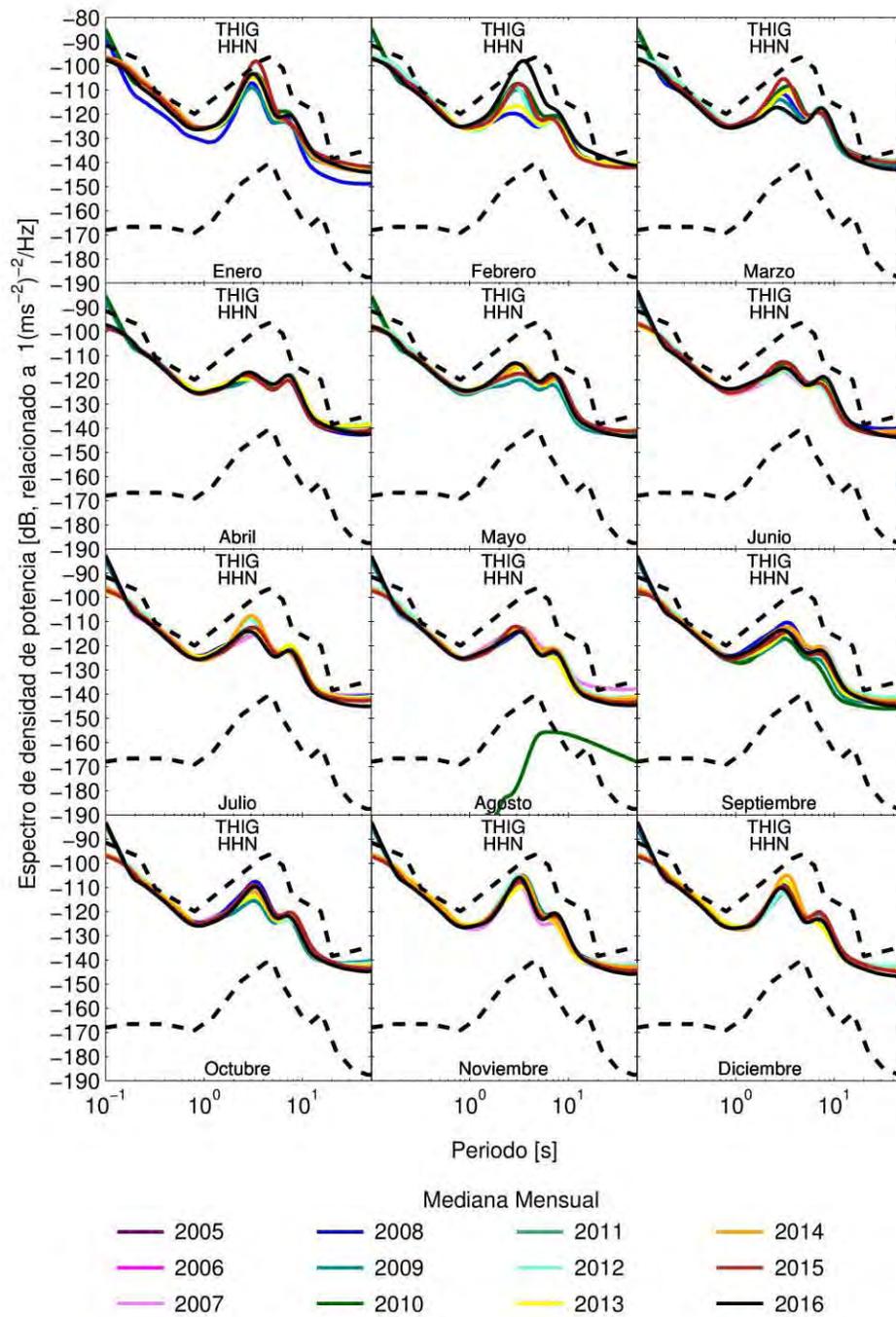


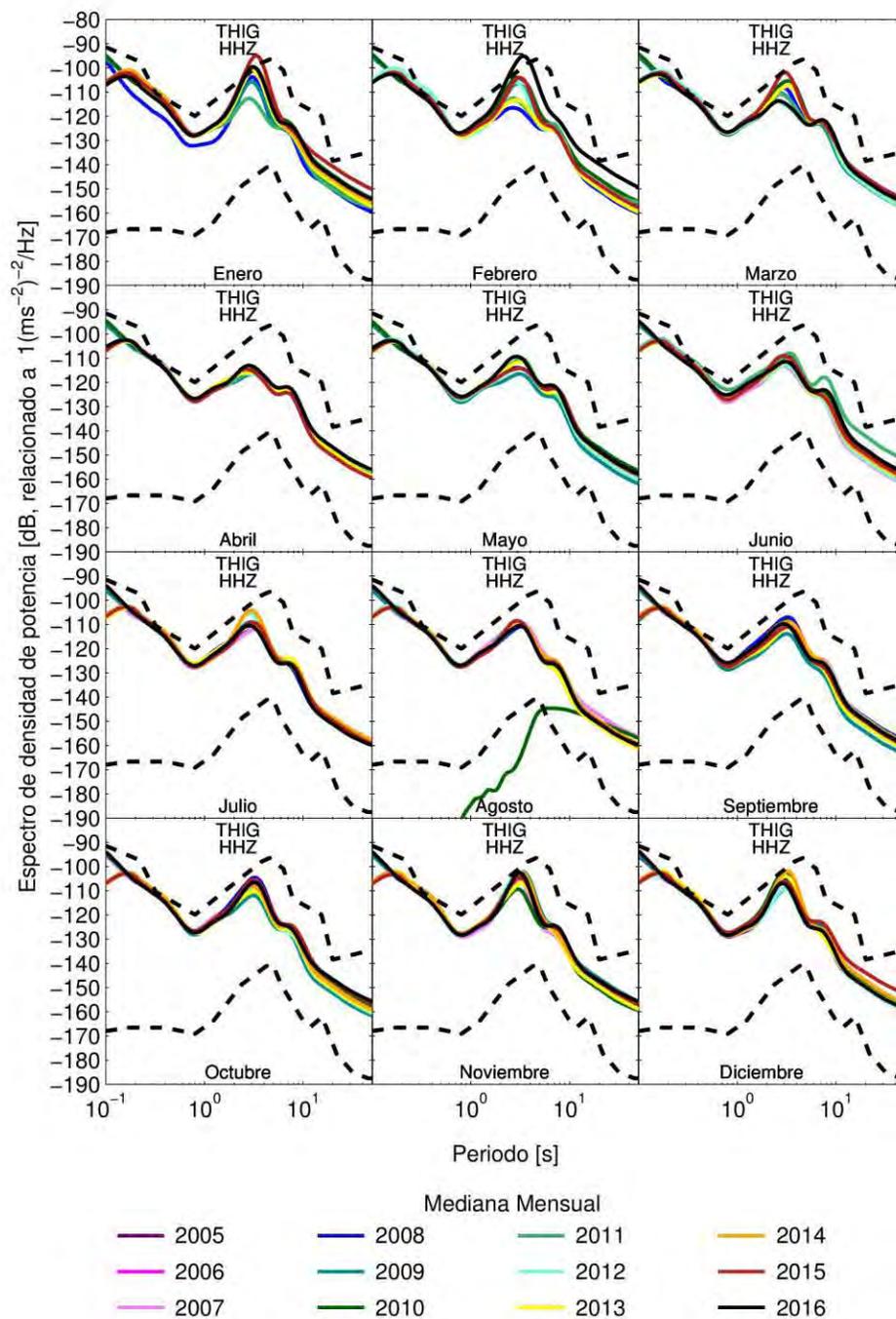


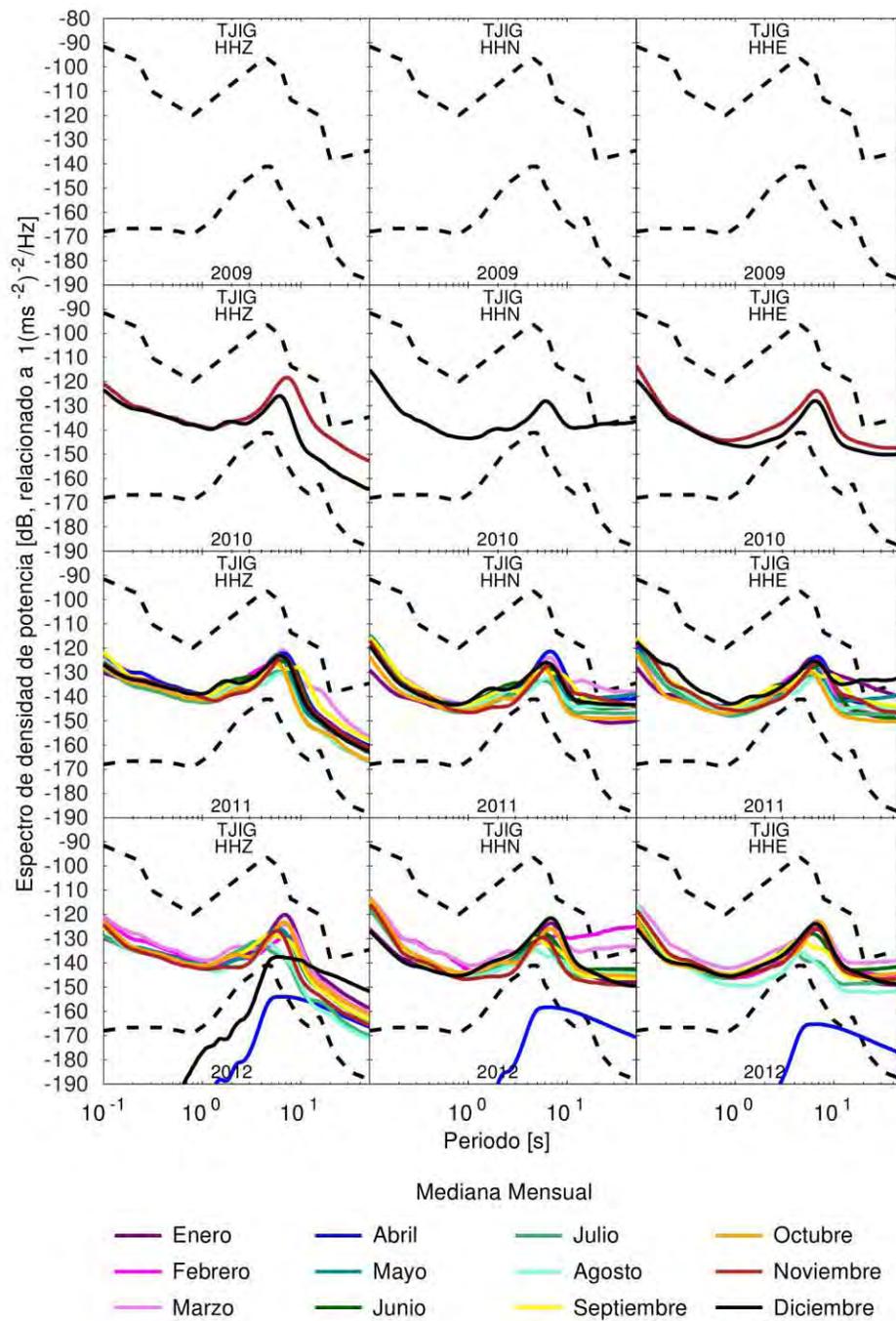


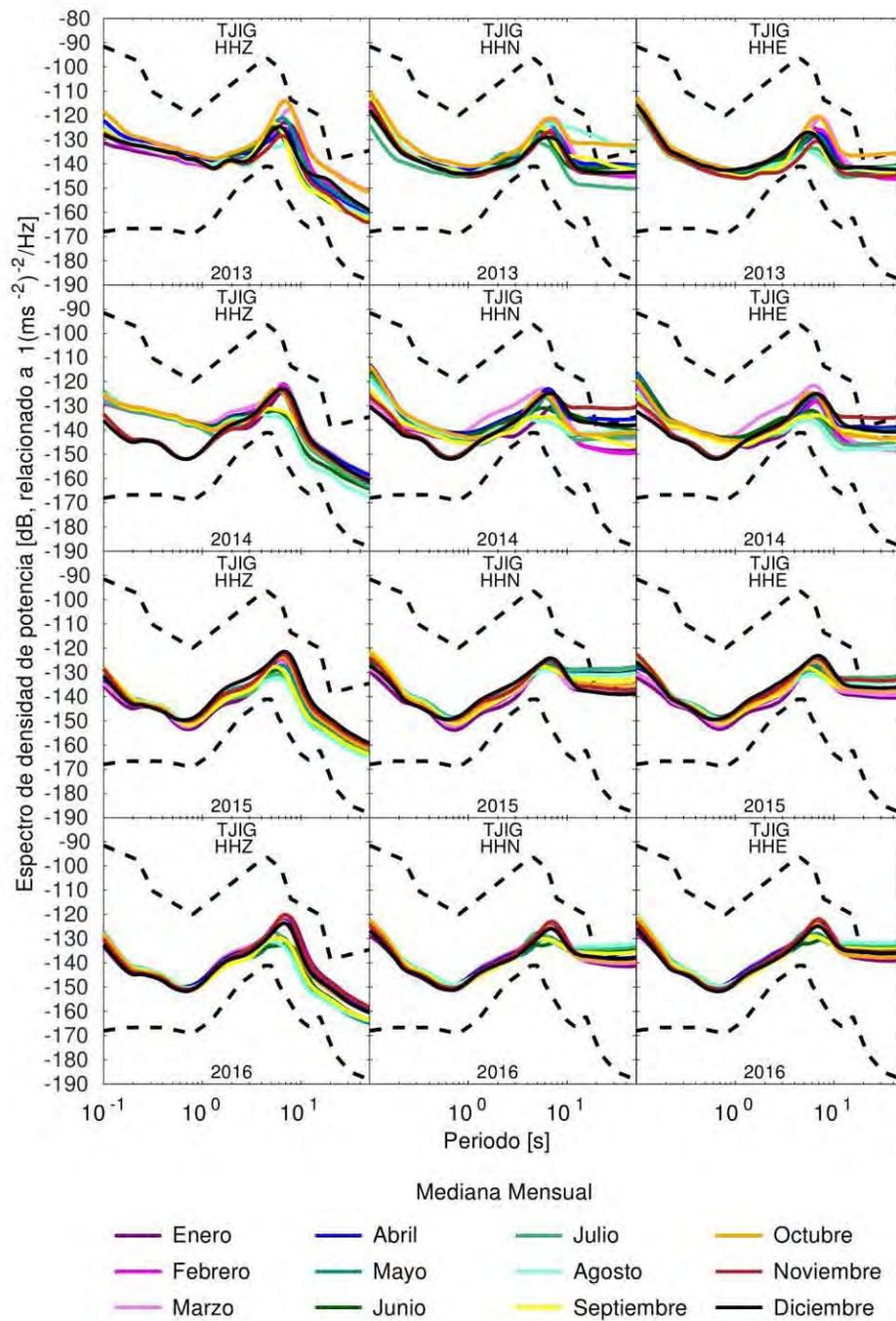


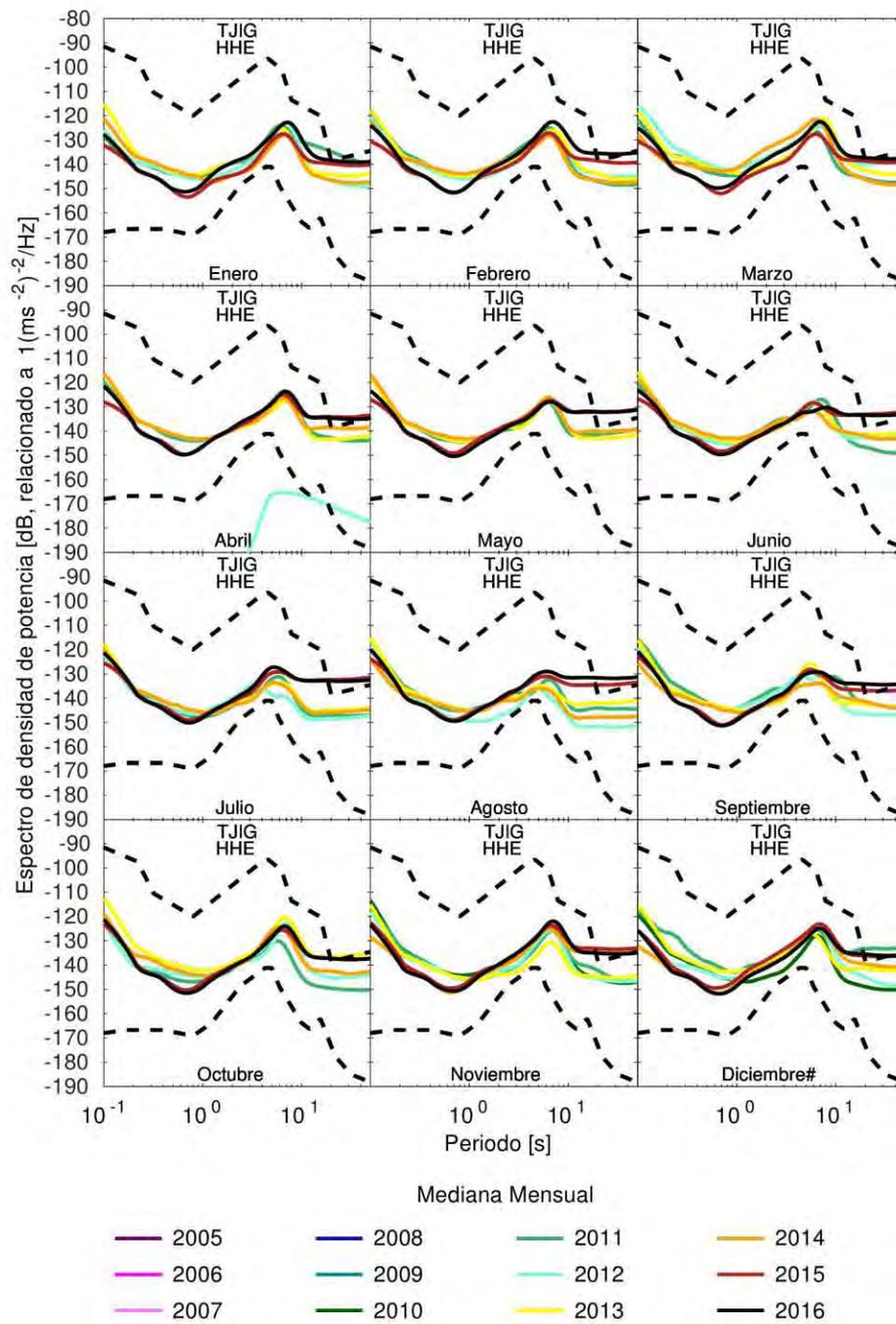


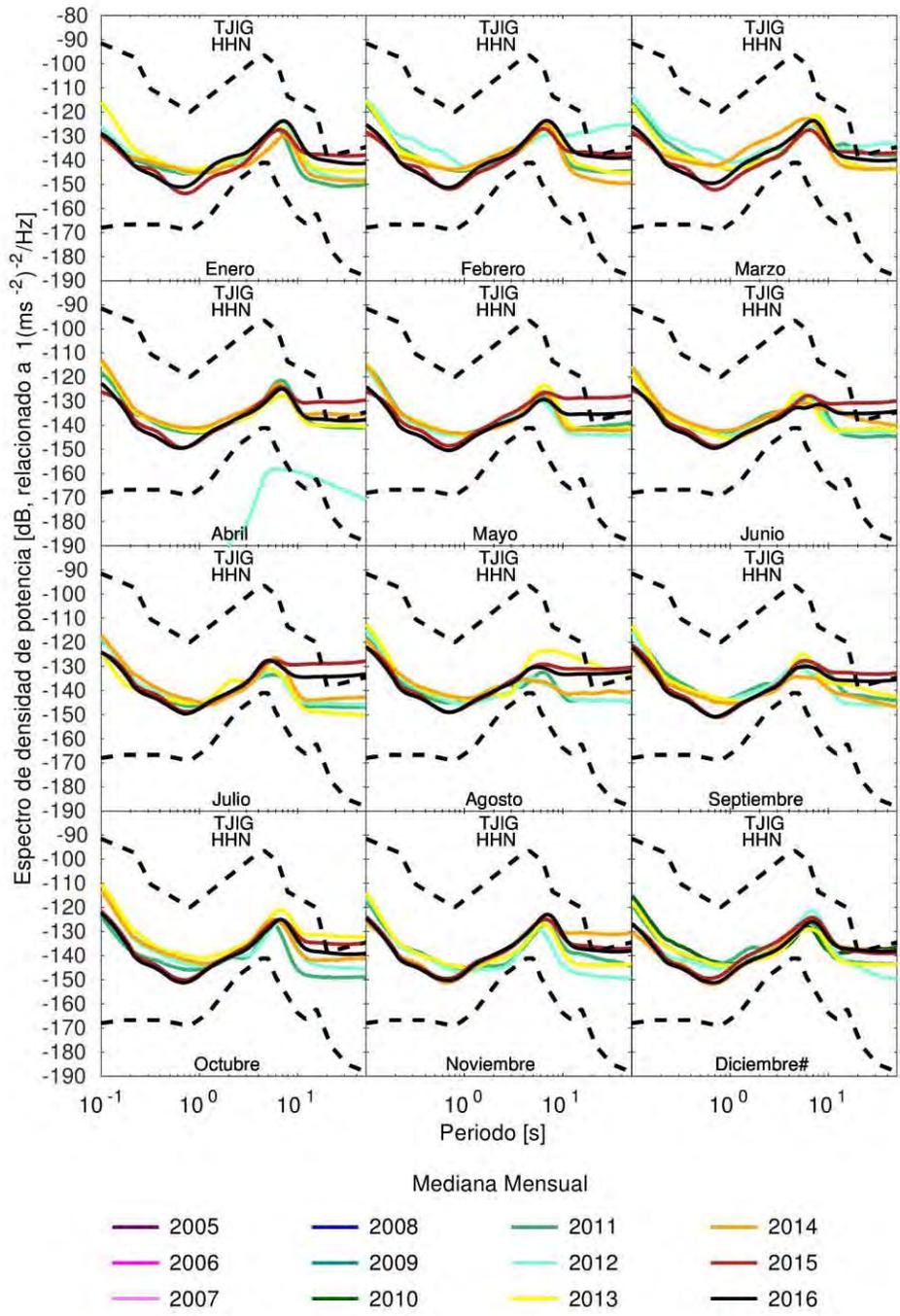


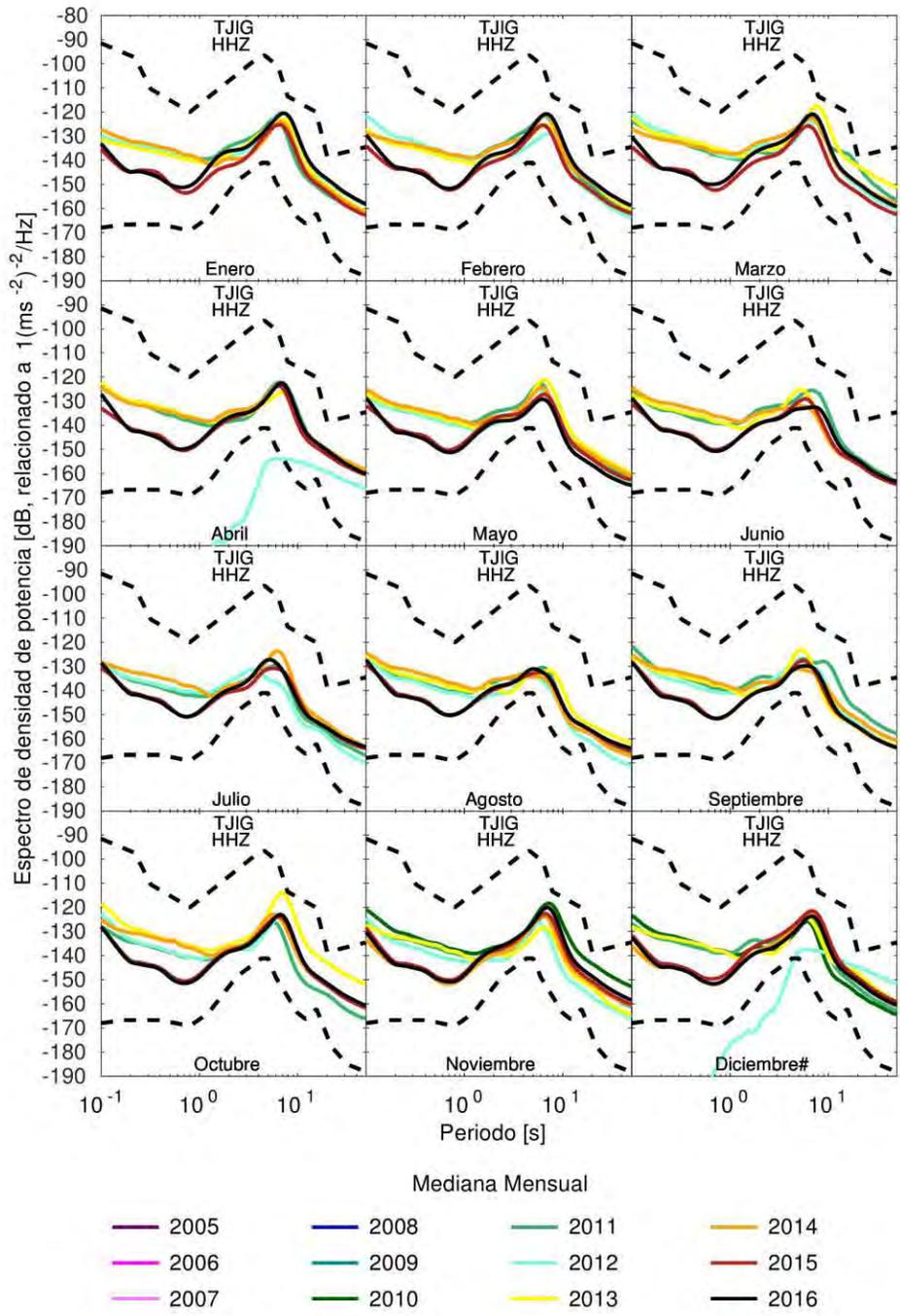


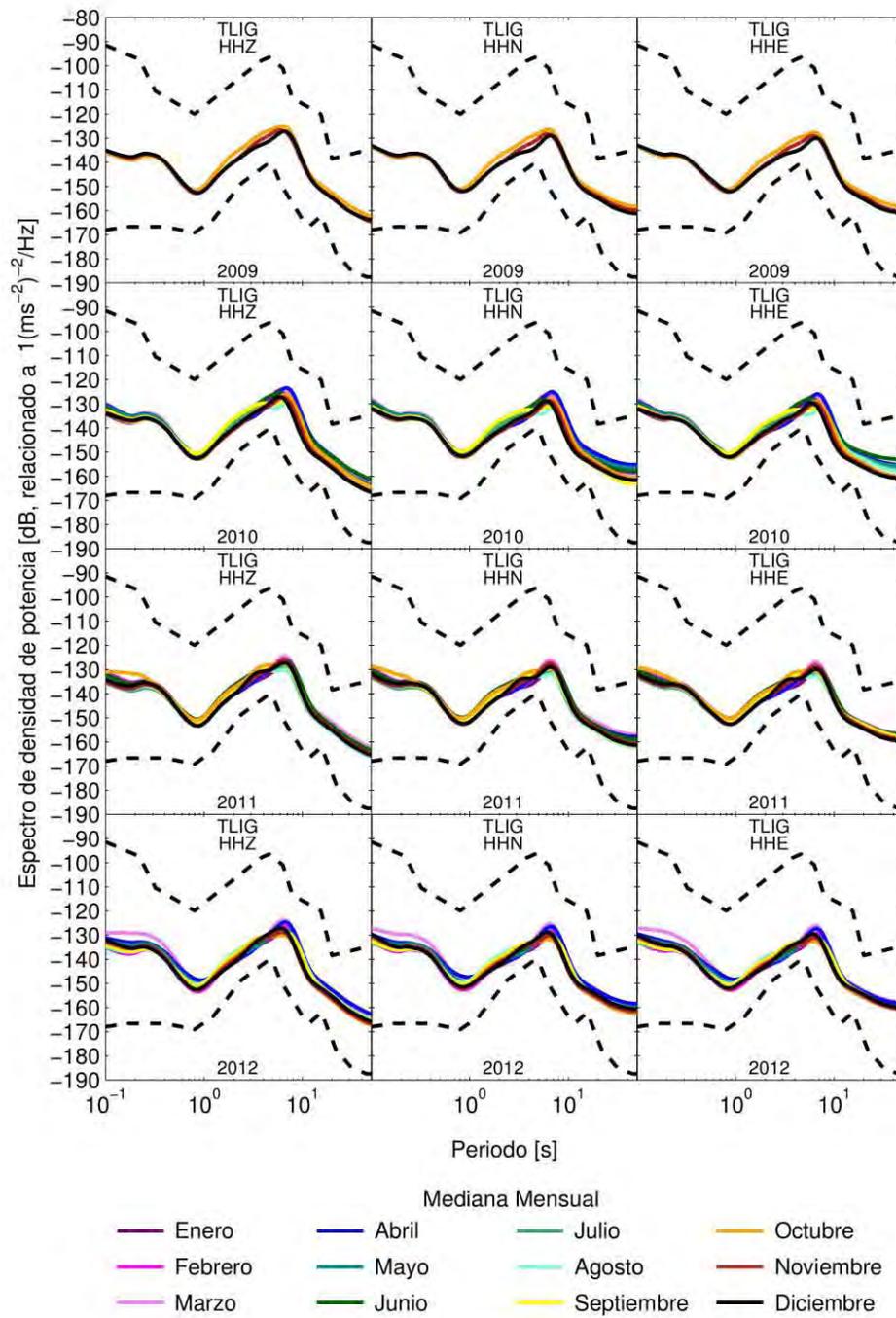


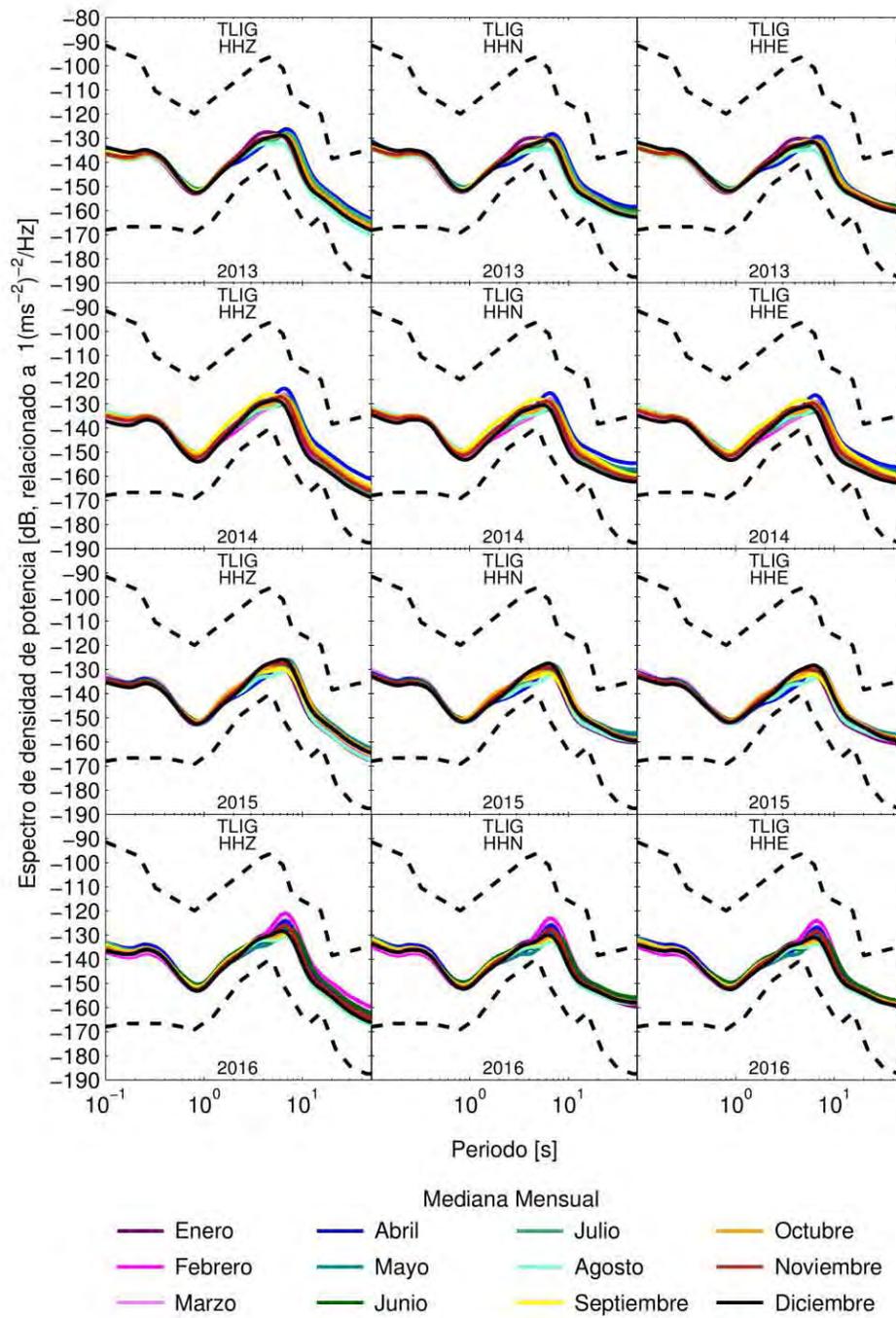


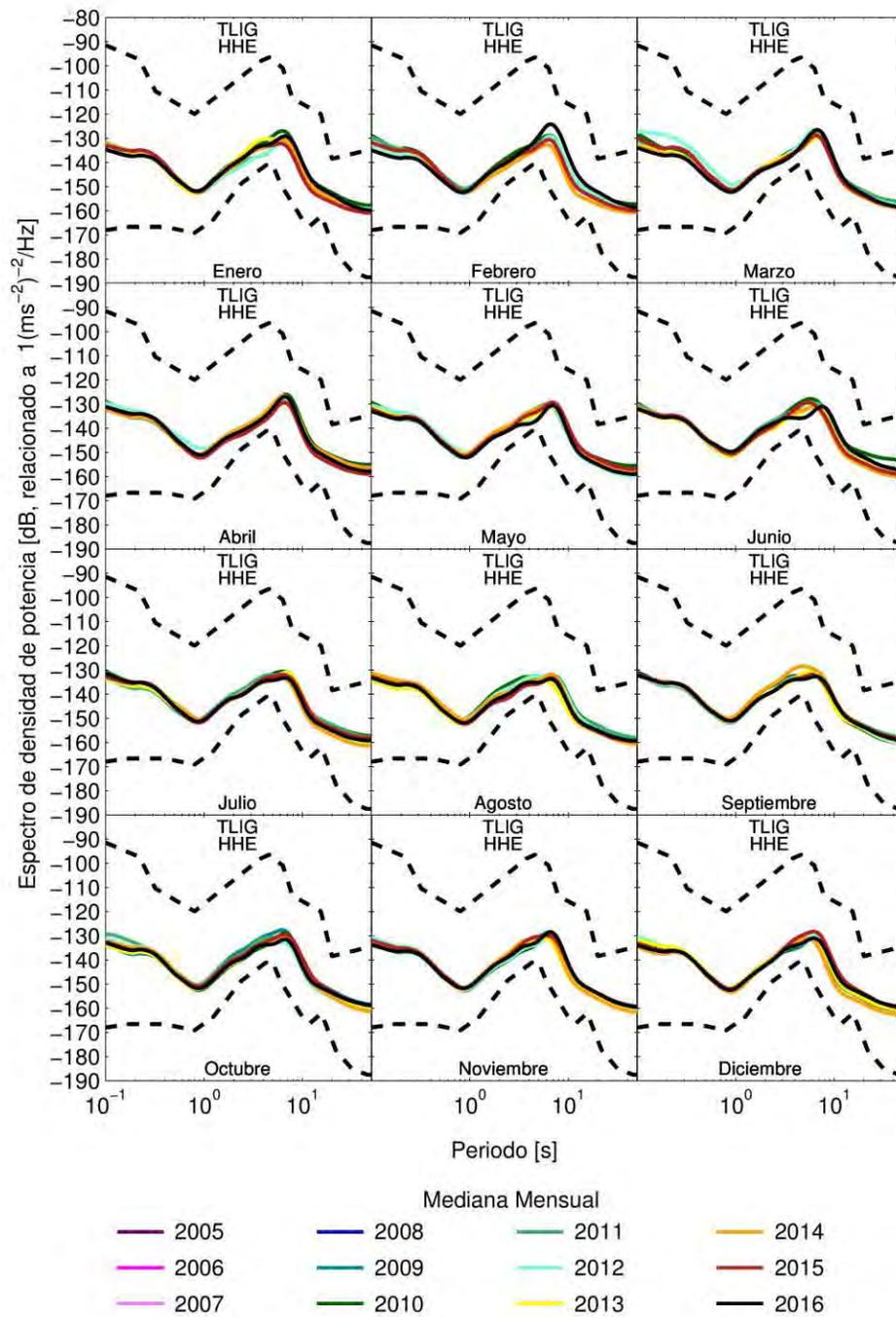


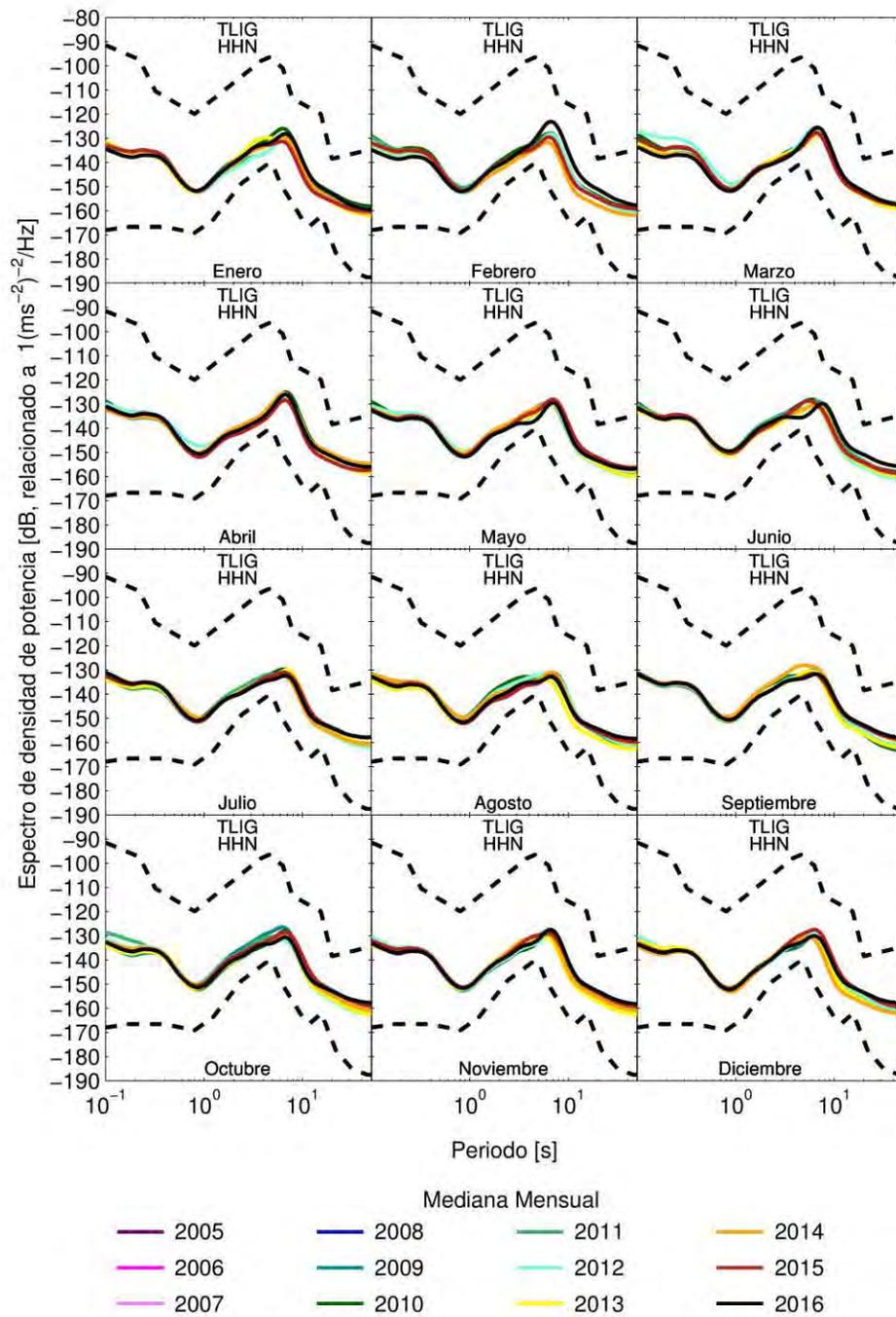


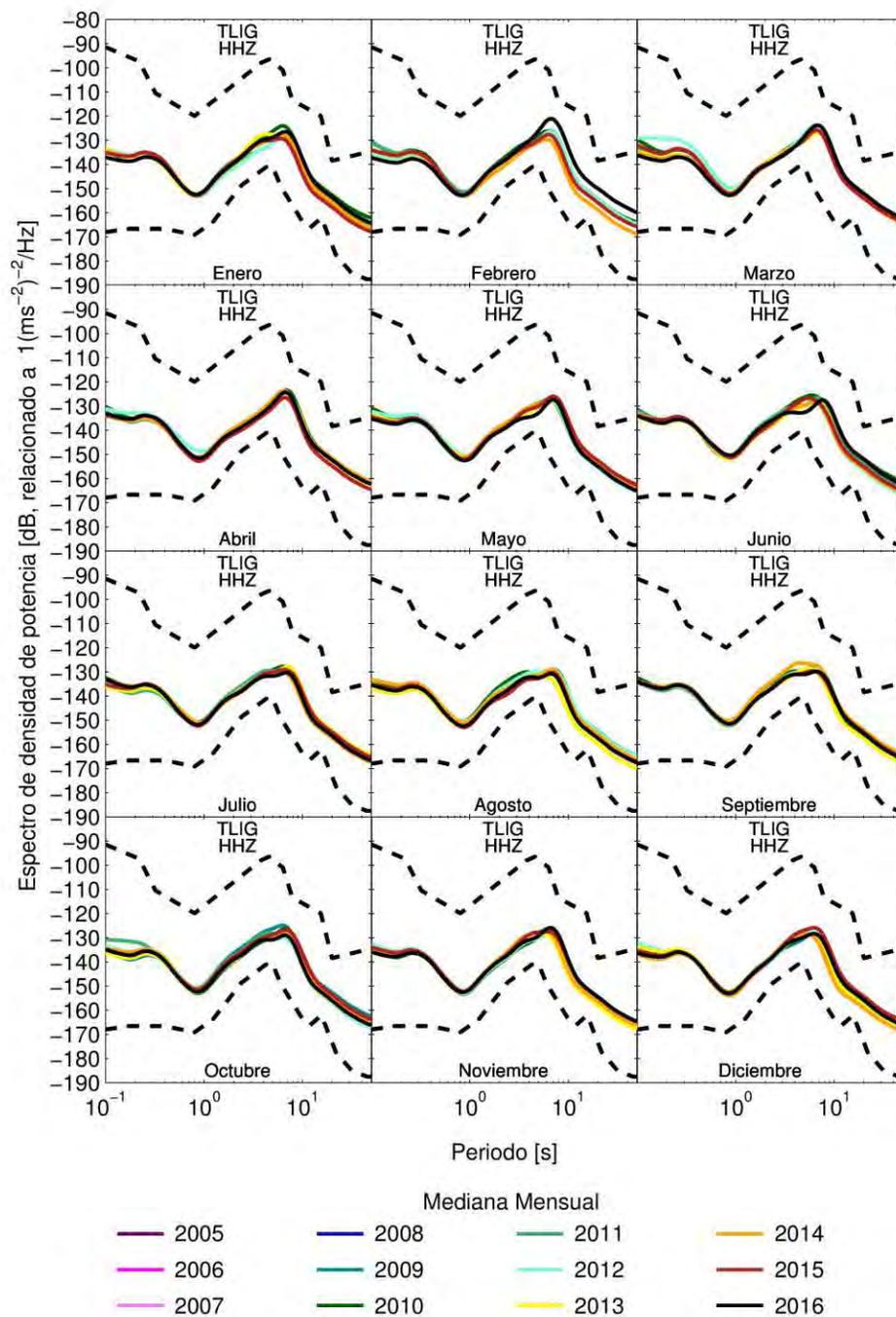


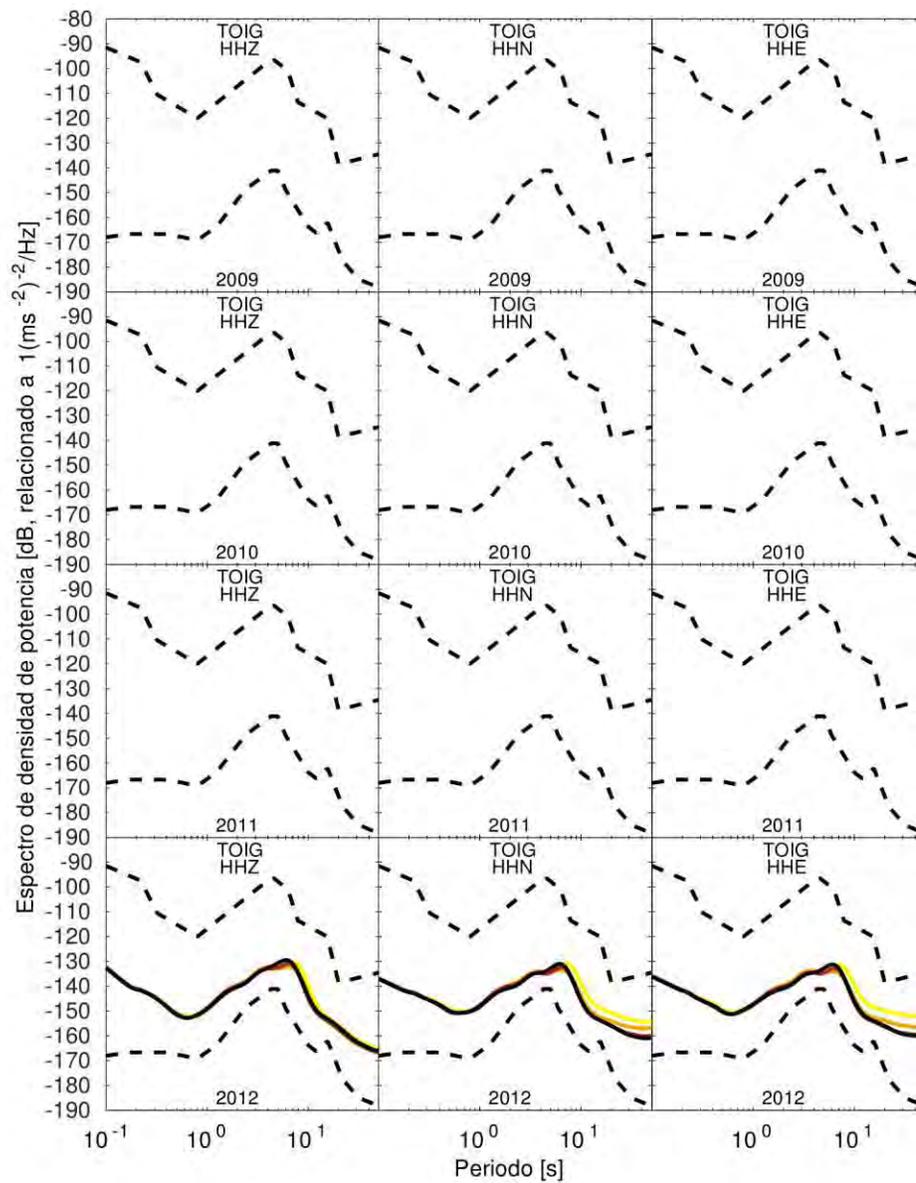












Mediana Mensual

- | | | | |
|-----------|---------|--------------|-------------|
| — Enero | — Abril | — Julio | — Octubre |
| — Febrero | — Mayo | — Agosto | — Noviembre |
| — Marzo | — Junio | — Septiembre | — Diciembre |

