

MAREA DIURNA Y SEMIDIURNA EN LOS REGISTROS DE TIEMPO DE PRESION ATMOSFÉRICA SUPERFICIAL EN GUATAPE Y GIRARDOTA, ANTIOQUIA

Sara Cristina Vieira Agudelo, Germán Poveda Jaramillo
Posgrado en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos,
Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín

Keywords: atmospheric tides, diurnal oscillation, semidiurnal oscillation, amplitude, phase.

ABSTRACT

We study atmospheric tides in hourly series of surface atmospheric pressure recorded at the localities of Guatape and Girardota, Colombia. We have identified strong diurnal and semi-diurnal atmospheric tides by using spectral decomposition through Wavelets Transforms, Fourier Transform and simple harmonic analyses. We found that the semidiurnal tide predominates over the diurnal oscillation. The Fourier analysis and the harmonic analyses confirmed that the highest amplitude correspond to the semidiurnal oscillation, being on the order of 1 hPa. The semidiurnal cycle peaks at about two or three hours before noon or midnight. The results obtained for the amplitude and phase of the diurnal oscillation are not statistically significant to characterize such oscillation. The semidiurnal tides of the atmospheric pressure have climatic importance and also multiple technological and industrial applications that depend on the fluctuations of the surface atmospheric pressure.

Palabras claves: mareas atmosféricas, oscilación diurna, oscilación semidiurna, amplitud, fase

RESUMEN

Se estudian las mareas atmosféricas en los registros horarios de presión atmosférica superficial de los municipios de Guatape y Girardota (Antioquia). Se utiliza la transformada de ondas, la transformada de Fourier y un análisis armónico sencillo. Los resultados muestran que la marea (oscilación) semidiurna de la presión atmosférica predomina sobre la oscilación diurna. Los análisis de Fourier y de armónicos confirman que se encuentran mayores valores de la amplitud para la oscilación semidiurna, que oscilan alrededor de 1 hPa. El máximo del ciclo semidiurno ocurre de dos a tres horas antes del mediodía o de la media noche. Los resultados que se obtienen para la amplitud y la fase de la marea diurna no son lo suficientemente significativos en términos estadísticos para caracterizar tal oscilación. Las mareas semidiurnas de la presión atmosférica tienen importancia climática y además múltiples aplicaciones tecnológicas e industriales que dependen de las fluctuaciones de la presión atmosférica superficial.

1. INTRODUCCION

Las mareas atmosféricas son oscilaciones diarias a escala global que sufren un forzamiento debido a las variaciones diurnas del calentamiento de la atmósfera que se manifiesta en la absorción de radiación solar ultravioleta por el ozono y por el vapor de agua atmosférico. Estas ondas además de sufrir un forzamiento térmico, están sometidas a un forzamiento gravitacional debido a la influencia del Sol y, en menor grado, de la Luna. El estudio de mareas atmosféricas se centra específicamente en el fenómeno de forzamiento térmico.

El estudio de las mareas se restringe además, a las mareas migratorias, las cuales se mueven con el sol. Las mareas no migratorias están asociadas con la topografía y con fuentes troposféricas de calor que permanecen fijas. Estas últimas no han recibido atención en el estudio teórico de este fenómeno. Por otro lado, las ondas migratorias han sido estudiadas extensivamente.

Respecto a la teoría de las mareas atmosféricas, lo primero que se puede mencionar, es que el calentamiento solar está activo únicamente durante el día. La respuesta de la atmósfera a este calentamiento puede descomponerse en una componente estacionaria, en una oscilación diurna, en una semidiurna y en otras oscilaciones de frecuencias mayores.

La marea semidiurna tiene una longitud de onda vertical grande (mayor de 100 km), lo cual le permite una excitación más eficiente en la región de calentamiento del ozono presente en la estratopausa. Esta se puede propagar más fácil hasta la superficie y así se evidencia en las fluctuaciones de la presión superficial. La marea semidiurna es regular debido a que el calentamiento del ozono es regular, y su estructura latitudinal es regularmente uniforme. La marea diurna tiene un comportamiento más complejo. Dentro del rango de latitudes entre 30°N y 30°S esta se puede propagar verticalmente con una longitud de onda de aproximadamente 28 km. Desde los 30° de latitud hasta los polos, la oscilación es atrapada en la vertical cerca de la región de forzamiento. Debido a esto, los modos que se propagan verticalmente forzados por el calentamiento del ozono tienden a interferir entre ellos destructivamente, provocando que tengan una amplitud más pequeña en la superficie. Sin embargo, la región de calentamiento de vapor de agua en la troposfera puede excitar la oscilación, este calentamiento es intermitente en el espacio y en el tiempo, por esto la oscilación resultante en la presión superficial es también intermitente.

Los registros de presión superficial constituyen la fuente de datos más extensa para el estudio de las mareas atmosféricas, sin embargo hoy en día también se ha implementado la medición de otros parámetros atmosféricos como son la temperatura y los vientos.

La observación de las mareas en la atmósfera media es muy pobre, actualmente las mediciones que se hacen provienen de observaciones de naves y radares las cuales proporcionan mediciones de viento que se han usado para determinar la longitud de onda de las componentes diurnas y semidiurnas. En la estratosfera baja las observaciones de los vientos mediante la implementación de globos meteorológicos han proporcionado registros en varias zonas del planeta por varios años. Estos datos han sido analizados para estimar la marea diurna y semidiurna, para mostrar la estructura horizontal y vertical y para mostrar la presencia de las componentes migratorias y no migratorias. La teoría en la cual se basa el estudio de mareas atmosféricas comprende ecuaciones de momentum en las direcciones zonal y meridional, balance hidrostático en la vertical, continuidad de masa y relaciones termodinámicas con algunas simplificaciones. En *Andrews et al* (1987) y *Lindzen* (1993) se desarrolla en detalle esta teoría.

Este trabajo está distribuido de la siguiente manera. En la sección 2 hace una breve descripción de los datos y de las metodologías empleadas, en la sección 3 se presentan los resultados obtenidos y el análisis respectivo y finalmente se hacen una realizan una serie de conclusiones y recomendaciones para el estudio futuro de este fenómeno.

2. DATOS Y ASPECTOS METODOLÓGICOS

Los datos usados para el estudio de las mareas diurna y semidiurna consisten en registros de presión atmosférica superficial en dos municipios de Antioquia. La primera serie de datos corresponde al mes de Noviembre de 1998 desde el día tres hasta el día once en el municipio de Girardota el cual está ubicado a $6,38^\circ$ de latitud norte y $75,45^\circ$ de longitud oeste y tiene una altitud de 1400m. Los datos se tomaron cada hora desde las 10:00 am del primer día hasta las 7:00 am del último día, en total son 646 datos de presión atmosférica superficial. La segunda serie de datos cubre desde el 22 de Enero de 1999 hasta el 12 de febrero de 1999 en el municipio de Guatapé el cual está ubicado a $6,23^\circ$ de latitud norte y $75,16^\circ$ de longitud oeste y tiene una altitud de 1900m. Los datos se tomaron cada media hora desde las 11:30 am del primer día hasta las 2:30 pm del último día. En total son 1015 datos de presión atmosférica superficial.

Además de los registros de presión atmosférica superficial, se cuenta con datos de temperatura y humedad del aire, radiación solar, velocidad del viento, precipitación, punto de rocío. Los registros de radiación solar, temperatura del aire y precipitación se usan para analizar el grado de asociación de estas variables con la presión atmosférica. La serie de presión atmosférica del municipio de Guatapé se muestra en la figura 1.

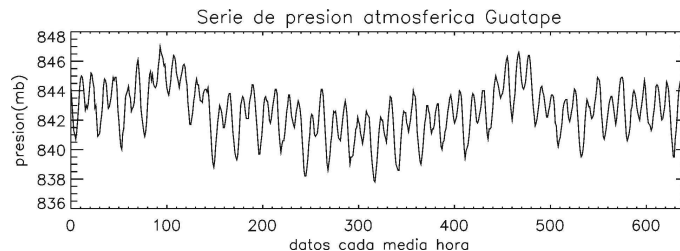


Figura 1. Serie de tiempo de presión atmosférica en Guatapé. Registros cada media hora desde el 22/01/99 hasta el 12/02/99

2.1. Identificación de mareas diurna y semidiurna

Para verificar la existencia de una componente diurna y semidiurna se realizó un análisis espectral el cual permite ver el comportamiento de los datos en el dominio de las frecuencias. El análisis espectral se hizo utilizando la transformada de onditas ("wavelets") definida por (Hoyos, 1999).

$$W(\lambda, t) = \int_{-\infty}^{\infty} f(u) \psi_{\lambda, t}(u) du, \text{ para } \lambda > 0. \quad (1)$$

La función $\psi(u)$ se conoce como “ondita madre”, En este trabajo se usa la ondita de Morlet.

Paralelo a este análisis espectral por onditas, se construyó el espectro de Fourier. La transformada de Fourier para una función $f(t)$ se define como

$$\hat{f}(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-2\pi i \omega t} dt \quad (2)$$

2.2. Análisis de amplitud y fase

Para separar las componentes diurna y semidiurna de las series de tiempo de presión atmosférica se aplicó un análisis armónico simple a las series filtradas. Para realizar el filtrado de las series se usó la transformada de onditas (wavelets) definida en el numeral anterior. El filtrado de las series se hace con el fin de separar las componentes diurna y semidiurna y así prevenir la intrusión de ruido que no sigue un comportamiento oscilatorio, lo cual podría afectar la determinación de la amplitud y la fase de las componentes.

El análisis de amplitud y fase se realizó con los registros que corresponden a días completos, así la serie de tiempo para Guatapé se reduce a 960 datos (20 días) y la serie de datos para Girardota se reduce a 624 datos (26 días).

Al realizar el filtrado de la serie no es necesario sustraer el valor medio de los valores de la presión a cada dato de las series.

El análisis armónico se realizó siguiendo las convenciones empleadas por *Hamilton (1980)*, y la metodología trabajada por *Lim y Suh (2000)*. Las amplitudes (A_1, A_2) y las fases (t_1, t_2) de las oscilaciones diurna y semidiurna, respectivamente, están definidas de la siguiente manera

$$S_n(t) = A_n \cos[2\pi n(t - t_n)/24], \quad n = 1, 2 \quad (3)$$

donde t es el tiempo solar local en horas.

Para la estimación de la amplitud y la fase se asume que la variable está compuesta de una componente diurna, semidiurna y por componentes de otras frecuencias. Para $n=1$ la ecuación (3) puede escribirse de la siguiente manera

$$\begin{aligned} P(t_i) &= R(t_i) + S(t_i) \\ P(t_i) &\approx A \cos[2\pi(t_i/24)] \cos[2\pi(t^*/24)] + A \sin[2\pi(t_i/24)] \sin[2\pi(t^*/24)] \end{aligned} \quad (4)$$

En la ecuación (4) la t^* es la fase en horas para la componente diurna.

La presión total P puede dividirse en una componente diurna S y en otras componentes R . Las observaciones en una hora determinada del día se denota t_i . Para registros de presión tomados cada media hora (Guatapé) los valores empleados para t_i son 0000, 0030, ..., 1000, 1030, ..., 2000, ..., 2330 UTC con i variando de 1 hasta 48. Para registros de

presión tomados cada hora (Girardota) los valores empleandos para t_i son 0000,0100,...,2300 UTC con i variando de 1 hasta 24.

Para estimar los valores de A y t^* se multiplicó por $\cos[2\pi(t/24)]$ ambos lados de la ecuación (4) y se hizo la sumatoria para todos los valores del día. El mismo procedimiento se realizó con el factor $\sen[2\pi(t/24)]$. Finalmente la amplitud y la fase se expresan de la siguiente forma

$$A = \cos\left[2\pi\left(\frac{t^*}{24}\right)\right] \frac{\sum_{i=1}^n P(t_i) \cos[2\pi(t_i/24)]}{\sum_{i=1}^n \cos^2[2\pi(t_i/24)]} + \sen\left[2\pi\left(\frac{t^*}{24}\right)\right] \frac{\sum_{i=1}^n P(t_i) \sen[2\pi(t_i/24)]}{\sum_{i=1}^n \sen^2[2\pi(t_i/24)]}, \quad (5)$$

$$t^* = \arctan \left[\frac{\sum_{i=1}^n P(t_i) \sen[2\pi(t_i/24)] / \sum_{i=1}^n P(t_i) \cos[2\pi(t_i/24)]}{\sum_{i=1}^n \sen^2[2\pi(t_i/24)] / \sum_{i=1}^n \cos^2[2\pi(t_i/24)]} \right] \quad (6)$$

donde n es 24 o 48 dependiendo de la serie de tiempo con la que se esté trabajando.

El total de la suma de los términos $R(t_i) \cos[2\pi(t/24)]$ y $R(t_i) \sen[2\pi(t/24)]$ se asume como cero, considerando que la covarianza entre series de tiempo con frecuencias diferentes es casi cero.

Para la componente semidiurna el procedimiento es el mismo. Para $n=2$ la ecuación (3)

$$P(t_i) = R(t_i) + S_2(t_i) \\ P(t_i) \approx A_2 \cos[2\pi(t_i/12)] \cos[2\pi(t^*/12)] + A_2 \sen[2\pi(t_i/12)] \sen[2\pi(t^*/12)] \quad (7)$$

Las expresiones que se obtiene para A_2 y t^*_2 son similares a las obtenidas para la componente diurna, considerando que un ciclo completo (2π) equivale a 12 horas. Una vez se tienen los valores de las amplitudes y fases de la componente diurna y semidiurna de las series de tiempo de presiones, se promedian los resultados para todos los días.

Con la fase y la amplitud promedio se reconstruyó la serie de presiones de componente diurna y componente semidiurna con base en las ecuaciones (4) y (7), y se realizó una gráfica superpuesta de la serie original filtrada y de la serie reconstruida para verificar el resultado obtenido.

2.3 Relación con otras variables

Para observar la relación de la presión con otras variables atmosféricas se utilizó el espectro cruzado en onditas para identificar bandas de frecuencia en que las serie están relacionadas. La coherencia en onditas se define como el cuadrado del valor absoluto del espectro cruzado suavizado,

dividido por el producto de los espectros de potencias suavizados de las dos series en estudio. Los resultados que brinda este método son principalmente cualitativos. El análisis de coherencia se realizó con las variables temperatura del aire, radiación solar y precipitación, usando el programa ASTOF (Hoyos, 1999).

3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En la figura 2 y 3 se presentan los resultados de la estimación del espectro de potencias y el espectro de Fourier, para los registros de Guatapé y Girardota respectivamente.

En ambas series se observa que los periodos correspondientes a 0.5 días y 1 día son los que tienen asociados mayores valores de la potencia, con valores entre el 80 y 90% para la serie de tiempo de Guatapé y con valores de entre el 70% y 80% para la serie de tiempo de Girardota. Según la transformada en ondita, para esta última serie se observa que el periodo correspondiente a 1 día aporta más a la varianza (tiene asociados mayores valores de potencia) a lo largo del tiempo de registro que el periodo correspondiente a 0.5 días. Esto se puede observar mejor en el gráfico que corresponde al promedio en el tiempo, allí el valor de la potencia correspondiente a este período es ligeramente mayor que el valor de la potencia correspondiente a 0.5 días. En este también se observa que el período correspondiente a 15 días tiene un valor asociado de la potencia más alto que los antes mencionados, sin embargo este periodo no es significativo porque no se encuentra dentro del cono de influencia. Para la serie de Guatapé se observa que en la gráfica correspondiente al promedio en el tiempo el periodo de 0.5 días tiene asociado el mayor valor de la potencia, siguiéndole el periodo de 1 día. Al igual que para la serie anterior, a los 15 días se reporta un valor de la varianza alto, pero este no es significativo por no encontrarse dentro del cono de influencia.

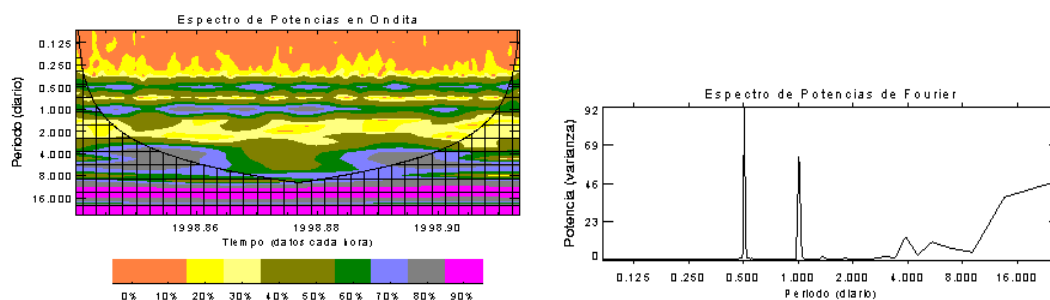


Figura 2. Espectro de potencias y espectro de Fourier. Girardota (registros entre 3/11/98 – 30/11/98)

En el espectro de potencias de Fourier se observa que para ambas series los periodos 0.5 días y 1 día tienen asociados altos valores de la varianza, siendo mayores para el periodo de 0.5 días. Al igual que en el espectro de potencias se observa que para la serie de Guatapé el periodo de 0.5 días es mucho más importante que el periodo un día, pues para esta serie la diferencia entre los valores de potencia para ambos periodos es mayor que

para la serie de Girardota. En este espectro se puede ver claramente que estos periodos predominan sobre todos los otros.

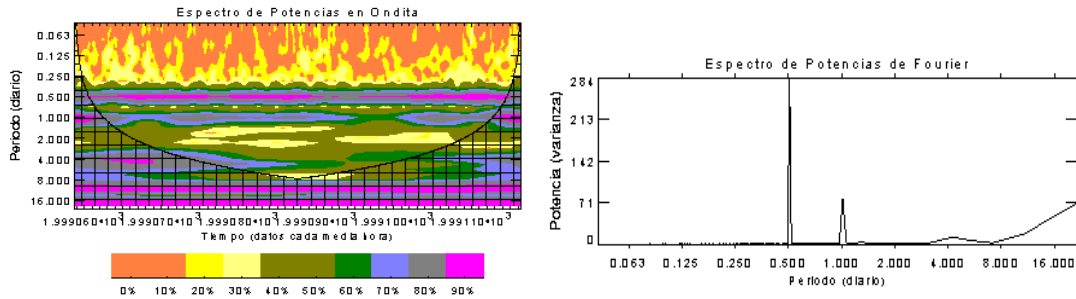


Figura 3. Espectro de Potencias y espectro de Fourier. Guatapé (registro entre 22/01/99 – 12/02/99)

A partir de estos resultados se puede verificar entonces la existencia de oscilaciones diurnas y semidiurnas en las series de presión atmosférica. En la figura 4 se muestran las series de Guatapé y Girardota luego de filtrar la componente diurna. Como es de esperarse el espectro de Fourier de estas series muestra que el periodo 1 día es el que aporta casi un 100% a la varianza del fenómeno.

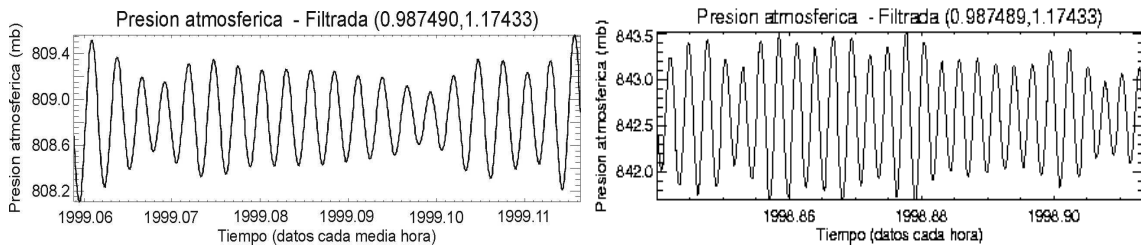


Figura 4. Serie de presión filtrada: Componente diurna Guatapé y Girardota respectivamente.

Las series de las componentes semidiurnas de los registros de Guatapé y Girardota se presentan en la figura 5.

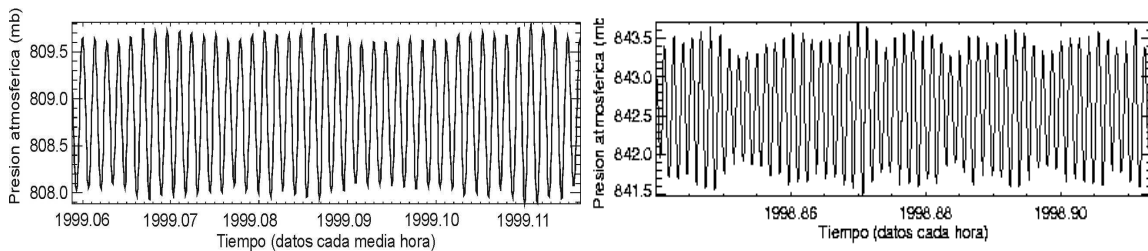


Figura 5. Serie de presión filtrada: Componente semidiurna Guatapé y Girardota respectivamente.

Después de obtener las series filtradas, se realizó un análisis armónico con el fin de caracterizar las oscilaciones diurnas y semidiurnas de las series de tiempo originales determinando la amplitud y la fase de las mareas atmosféricas. El análisis armónico se realizó utilizando la metodología antes descrita.

Luego de realizar un promedio de los valores de la fase y de la amplitud obtenidos para cada uno de los días del registro para ambas series, se obtuvieron los resultados de la Tabla 1 y la Tabla 2.

Tabla 1. Valores de Amplitud y fase para la serie de presión de Guatapé

	Oscilación Diurna	Oscilación Semidiurna
Fase (rad)	-0.307	-1.035
Amplitud (hPa)	-0.062	0.835

Tabla 2. Valores de amplitud y fase para la serie de presión de Girardota

	Oscilación Diurna	Oscilación Semidiurna
Fase (rad)	1.1236	-1.381
Amplitud (hPa)	0.6952	0.903

Teniendo en cuenta que para la componente diurna el análisis de fase se hizo considerando que 2π equivale a 24 horas y que para la componente semidiurna 2π equivale a 12 horas, se obtuvieron los valores de la fase en horas para ambas series. El valor presión resulta de sumar a los valores de amplitud obtenidos la media de las series a las cuales se les hizo el análisis. Los resultados se resumen en las tablas siguientes

Tabla 3. Valores de amplitud y fase para la serie de tiempo de Guatapé

	Oscilación Diurna	Oscilación Semidiurna
Fase (h)	22.83	10.03, 22.03
Amplitud (hPa)	808.776	809.672

Tabla 4. Valores de amplitud y fase para la serie de tiempo de Girardota

	Oscilación Diurna	Oscilación Semidiurna
Fase (h)	4.29	9.36, 21.36
Amplitud (hPa)	843.290	843.496

En estos resultados se observa que la amplitud de la componente semidiurna es mayor que la de la componente diurna. Se observa también que la hora a la cual ocurre el máximo de la componente semidiurna es muy parecida para ambas series, mientras que la hora a la cual ocurre el máximo de la componente diurna difiere para ambas series.

En las figuras 6 y 7 se presentan las series reconstruidas para las componentes diurna y semidiurna superpuestas con la series filtradas diurna y semidiurna.

Como la presión atmosférica puede ser expresada de la siguiente manera

$$P(t_i) = P_0 + S_1(t_i) + S_2(t_i) + R_i \quad (8)$$

donde P_0 es la presión media diaria. Finalmente se obtuvo una serie reconstruida de la presión a partir de las componentes diurna y semidiurna. En la figura 8 se puede observar la serie reconstruida superpuesta con la serie original.

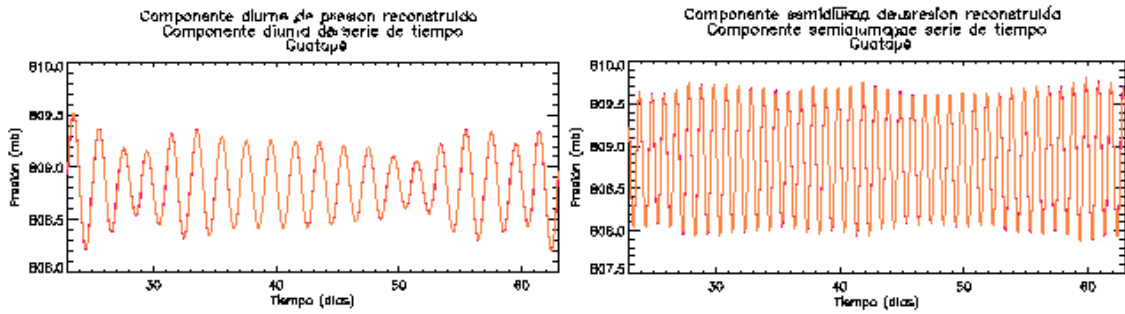


Figura 6. Componentes diurna y semidiurna obtenidas superpuestas con la series filtradas diurna y semidiurna de la serie de tiempo de Guatapé.

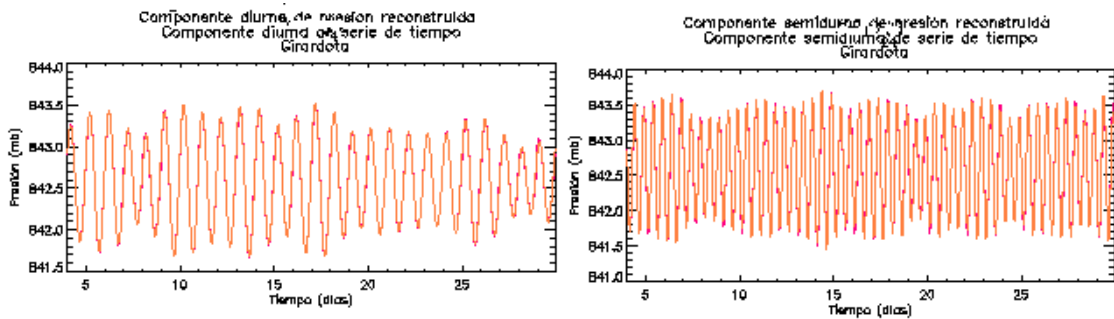


Figura 7. Componentes diurna y semidiurna obtenidas superpuestas con la series filtradas diurna y semidiurna de la serie de tiempo de Girardota.

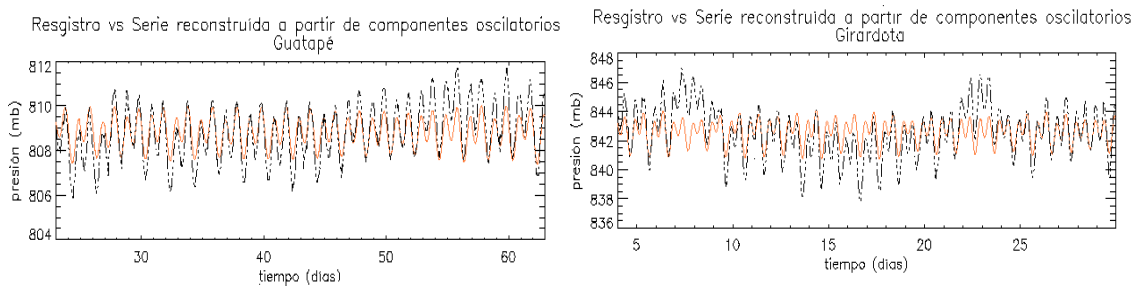


Figura 8. Series de presión (líneas punteadas). Series recostruidas (líneas en color) para Guatapé y Girardota.

Los espectros de coherencia que se obtuvieron para la presión en relación con la temperatura, la radiación y la precipitación se muestran en las figura 9 para Guatapé.

De los resultados obtenidos al aplicar la transformada en onditas y la transformada de Fourier de las series de tiempo se concluye que efectivamente existe un ciclo diurno y un ciclo semidiurno en la presión atmosférica superficial. En Guatapé el ciclo semidiurno es más marcado ya

que es este el que aporta más a la varianza. En la serie de Girardota los dos armónicos aportan casi en la misma proporción a la varianza, esto se puede ver en los espectros de onditas y de Fourier.

A partir de los resultados obtenidos de la fase y la amplitud se puede decir que la componente semidiurna es más regular que la componente diurna ya que para las dos series consideradas, la fase identificada es muy similar. Por el contrario, para la componente diurna existe una diferencia de aproximadamente 5 horas. El resultado obtenido para los valores de la amplitud es coherente con el resultado del espectro de onditas o el de Fourier pues para la serie de Girardota existe una diferencia más pequeña entre las amplitudes de las dos componentes estudiadas (0.206 hPa) que para la serie de Guatapé (0.896 hPa).

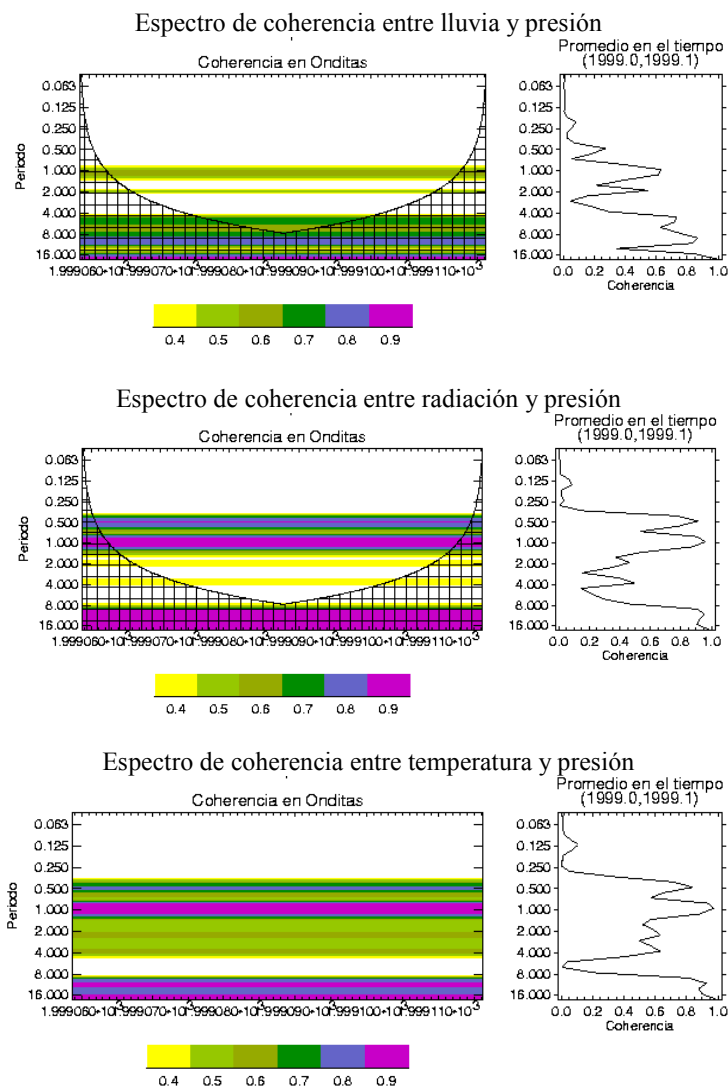


Figura 9. Espectro de coherencia presión vs variables (lluvia, temperatura, radiación) para la serie de Guatapé en el periodo 22/01/99-12/02/99

Los valores de la fase y de la amplitud obtenidos para la componente semidiurna son muy similares a los que figuran en la literatura para la región del trópico. Otros autores han identificado valores de la amplitud de la marea es de aproximadamente 1-1.3 hPa en el norte de Sur América y los picos ocurren dos o tres horas antes del medio día y de la media noche (*Dai Wang*, 1999). Los resultados que se obtuvieron de 0.8 y 0.9 hPa no están muy lejanos de estos resultados. Para el trópico, la amplitud de la marea diurna varía entre 0.9 y 0.7 para la región de suramérica tropical y que la fase varía entre las 5 y 6 horas de la mañana. El resultado obtenido para la serie de Girardota está aproximadamente dentro de los rangos enunciados, mientras que los resultados obtenidos para la serie de Guatapé difieren bastante.

Al realizar la coherencia en onditas se encontró que para Guatapé, la presión refleja una alta coherencia (0.9) con la radiación solar en una banda de periodos de 0.5 días y 1 día, lo cual refleja la relación del ciclo diurno de la radiación con el ciclo semidiurno y diurno de presión y puede dar evidencia del forzamiento térmico. Sin embargo para la serie de Girardota, la coherencia en onditas no arroja bandas de frecuencias donde la radiación y la presión estén relacionadas. Esta discrepancia debe ser estudiada.

La coherencia entre la presión y la temperatura del aire muestra una buena relación entre las variables para los periodos de 0.5 días (0.8) y de 1 día (0.9) en la serie de Guatapé. En la serie de Girardota también se observa esta coherencia, también alta pero en menor magnitud para las mismas frecuencias, siendo de 0.7 para el periodo de 0.5 días y de 0.9 para el periodo de 1 día. El periodo de 1 día, esto es, la temperatura máxima diaria está bien relacionada con un pico en la serie de presión.

La coherencia entre la presión y la lluvia muestra una coherencia media (0.6) para el periodo de 1 día en la serie de Guatapé. Para la serie de Girardota la coherencia entre estas dos variables no es significativa. La relación entre la presión y la lluvia podría analizarse mejor si se consideran otras variables que para el caso no se tenían como son la nubosidad o el calor latente de precipitación convectiva para zonas como el trópico. Además se pueden obtener mejores resultados si se tienen registros más largos.

Las gráficas de las series reconstruidas fueron realizadas sumando a la componente diurna y semidiurna la presión promedio de todo el registro. Estas gráficas pueden mejorar si se refina el cálculo sumando el promedio de cada día.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A partir del estudio realizado en las series de presión atmosférica superficial en los municipios de Girardota y Guatapé en Antioquia, se determinó la existencia de una marea semidiurna predominante sobre la

marea diurna, que tiene una amplitud 0.8-09 hPa y que presenta un pico antes del mediodía entre las 9.5 y 10 horas, y antes de la medianoche entre las 21.5 y 22 horas. La excitación de estas perturbaciones se debe básicamente a mecanismos térmicos como son el calentamiento del ozono y vapor de agua en la atmósfera, la reflexión de radiación solar por las nubes y el flujo de calor sensible desde la tierra. El análisis de coherencia espectral por onditas permitió establecer que existe una importante y fuerte relación entre la radiación solar y la temperatura con el fenómeno de mareas diurna y semidiurna, lo cual evidencia la importancia del forzamiento térmico. No se encontró una fuerte asociación entre las mareas y la precipitación en ambas localidades.

Para realizar una caracterización más completa del fenómeno es necesario tener más estaciones de presión y con registros más largos, lo cual haría posible analizar la variación estacional y regional de las mareas, también se recomienda estudiar series de vientos en la atmósfera para obtener el desplazamiento de la perturbación en la vertical y considerar variables como la cantidad de ozono en la columna atmosférica para determinar el aporte del mecanismo de forzamiento inducido por el calentamiento de este componente en las oscilaciones diurnas y semidiurnas.

El estudio realizado es una aproximación sencilla con herramientas potentes de análisis de señales oscilatorias, al entendimiento de las características de un fenómeno que poco se ha estudiado en el país. Se hace necesario realizar este estudio para llegar a tener un conocimiento global de cual es la relación entre las diferentes variables atmosféricas enmarcadas en el ciclo diurno. El entendimiento de las mareas atmosféricas tiene implicaciones climáticas y atmosféricas importantes, así como múltiples aplicaciones tecnológicas e industriales que dependen de las fluctuaciones de la presión atmosférica superficial.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrews, D. G., J. R. Holton y C. B. Leovy, Middle Atmosphere Dynamics. Academic Press, 113-175, 1987.
- Briggs, W. L., y V. H. Henson, DFT, An owner's manual for Discrete Fourier Transform. SIAM, 1-59, 260-272, 1995.
- Dai, A., y J. Wang, Diurnal and Semidiurnal Tides in Global Surface Pressure Fields. J. Atmos. Sci., 56, 3874-3891, 1999.
- Hoyos, C. D.,. Algunas aplicaciones de la transformada de Fourier y de la descomposición de onditas a señales hidrológicas y sísmicas. Trabajo Dirigido de Grado, Ingeniería Civil, Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, 1999.
- Lim, G., y A. Suh, Diurnal and Semidiurnal Variations in the Time Series of 3-Hourly Assimilated Precipitation by NASA GEOS-1. J. Climate, 13, 2923-2940, 2000.
- Lindzen, R., Dynamics in Atmospheric Physics. Cambridge University Press, 136-202, 1993.