

## **APLICACIÓN DEL METODO DE CHAPMAN-MILLER EN EL ANALISIS DE LAS VARIACIONES LUNARES DIARIAS EN DATOS GEOMAGNETICOS Y PRESION ATMOSFERICA**

Domingo Rosales<sup>1\*</sup>, Erick Vidal<sup>1</sup>, Jacinto Arroyo<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Observatorio Geomagnético de Huancayo – Instituto Geofísico del Perú, Huancayo, Perú

### **RESUMEN**

El método Chapman-Miller es utilizado para los análisis de las variaciones lunares diarias en datos geomagnéticos y presión atmosférica registrados en el observatorio de Huancayo. Se han usado datos promedios horarios de los años 2008 y 2009, debido a que corresponden con el periodo de mínima actividad solar y geomagnética. Se verifica una marcada contribución lunar semidiurna en la componente horizontal H del campo geomagnético, así mismo también se observa la contribución lunar semidiurna en las demás componentes geomagnéticas y en la presión atmosférica.

**Palabras Clave:** Método Chapman-Miller, variación lunar diaria, variación solar diaria

### **ABSTRACT**

The Chapman-Miller method is used for analysis of lunar daily variations in geomagnetic and atmospheric pressure data recorded in Huancayo Observatory. Hourly mean data were used for the years 2008 and 2009, because it corresponds to the period of minimum solar and geomagnetic activity. A marked Lunar semidiurnal contribution is observed in the horizontal component H of the geomagnetic field, also the contribution is observed in the others lunar semidiurnal geomagnetic components and atmospheric pressure.

**Keywords:** Chapman-Miller Method, daily lunar variation, daily solar variation

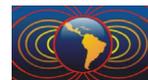
### **Introducción**

El método de Chapman-Miller es uno de los métodos clásicos ampliamente usados en la determinación de la variación diaria lunar en datos geofísicos. Muchas propiedades geofísicas son afectadas por la acción de marea debido al efecto lunar. Por ejemplo, variaciones lunares semidiurnas han sido encontradas en datos meteorológicos tales como la presión atmosférica (Chapman and Malin, 1970), la temperatura del aire y el viento, como también en datos de rayos cósmicos (Malin and Chapman, 1970).

Las variaciones meteorológicas diarias lunares no son muy simples, no presentan variaciones con considerables amplitudes, ni tampoco están regularmente distribuidas como uno puede esperar; esto es debido a que alrededor del mundo la estructura atmosférica esta en constante cambio.

Las primeras búsquedas de las variaciones atmosféricas debido al efecto lunar fueron realizadas alrededor del año 1774, por Laplace mediante análisis de datos barométricos (para la estación de Brest), pero con un análisis inadecuado. Hasta que en 1842 por primera vez fueron encontradas por Lefroy (para la estación de Santa Helena), y pocos años más tarde fueron también determinadas por Elliot (para Singapur). Muchas otras determinaciones fueron realizadas en los siguientes años por ejemplo: por Neumayer para Melbourne, por Airy para Greenwich, por Börnstein para Berlin, Hamburg, Keitum y Viena, y por Wagner para Samoa; pero los resultados fueron poco confiables, usualmente debido a que la forma de análisis fue inadecuada para dicho propósito (Chapman, 1935).

Los estudios de las variaciones geomagnéticas diarias lunares fueron iniciados por Kreil M. en 1841, quien usando los datos de Declinación de Praga anunció en la Sociedad de Ciencias de Bohemia, que descubrió la influencia lunar en la variación del campo geomagnético, luego de dicho descubrimiento Sabine E., en 1853 y algunos otros científicos estudiaron este fenómeno para las tres componentes geomagnéticas. Van Bammelen en 1912 fue el primero que trato la variación geomagnética lunar como un fenómeno global y



analizó sus datos usando el método de los armónicos esféricos desarrollados por Schuster en 1889. Años más tarde Chapman S., entre 1913 a 1917 hizo un estudio más detallado de la variación geomagnética lunar en estaciones individuales y expandió los valores de los armónicos esféricos obtenidos. En 1936 Bartels J., descubrió el marcado dominio de las amplitudes semidiurnas de la componente horizontal de la variación lunar en datos de Huancayo (zona del ecuador geomagnético). El mismo tipo de acrecentamiento fue reportado por los observatorios de Kodaikanal 1958, Ibadan 1959 y Addis Ababa 1960, por lo que en 1962 Matsushita S., propuso que ello sería debido a un efecto del electrochorro lunar en la zona ecuatorial magnética (Matsushita and Campbell, 1967).

Diversos fenómenos aeronómicos ocurren en la región de la ionosfera, aunque ellos están íntimamente relacionados con la dinámica meteorológica de la baja y alta atmósfera. El calentamiento en el lado día y enfriamiento en el lado noche de la atmósfera generan vientos que transportan el plasma ionosférico generando corrientes eléctricas en la región dinamo (de 80 a 200 kilómetros de altitud de la superficie terrestre), produciendo variaciones en el campo geomagnético que son registradas en los magnetogramas por los observatorio y estaciones geomagnéticas.

El principal propósito del método Chapman-Miller es la determinación de las variaciones diarias debidas a la acción de la Luna, obteniéndose además como subproducto las variaciones que tienen periodos de un día solar o fracciones del mismo. En este método es usada una serie de datos horarios, bihorarios o trihorarios cubriendo varios periodos de años o incluso décadas (Chapman and Miller, 1940). La principal ventaja del método Chapman-Miller es que tiene la habilidad para analizar secuencias incompletas de datos (De Meyer, 2003).

### Método Chapman-Miller: Variación lunar diaria L

En la expresión temporal se utiliza dos términos denominados tiempo solar  $t$  y tiempo lunar  $\tau$ . El ángulo de fase  $\lambda$ , es expresado comúnmente en grados o radianes sin embargo en el presente método debido a que las variaciones están muy relacionadas con la longitud de un día, el ángulo de fase es medido en términos de horas  $0 \leq \lambda_{\text{horas}} \leq 24$  donde una hora corresponde a 15 grados, la presentación de los resultados finales son dados en términos de grados.

El estudio del comportamiento de las variaciones diarias solares y lunares observada en datos geofísicos no es simple. Los diversos factores que influyen en estas magnitudes y el método de análisis aplicado llevan a distintos resultados.

La componente más importante de la variación lunar diaria L es  $L_2$ , que tiene un periodo de medio día lunar, y es expresado por:

$$L_2 = l_2 \text{sen} (2 \tau + \lambda_2) \tag{1}$$

donde  $l_2$  es la amplitud de la variación lunar semidiurna,  $\tau$  es el tiempo lunar (cuyo rango es de 0 a 24 horas lunares),  $\lambda_2$  es el ángulo de fase.

Además de  $L_2$ , el cual es una variación puramente lunar, L cuenta con una parte  $(L - L_2)$  que depende del tiempo lunar y solar. Esta parte es denominada componente lunisolar. La variación lunar total es dado por  $L = \sum L_n$ , donde  $n$  es un número entero cuyo rango es  $(-\infty < n < +\infty)$ . Para el caso de estudios ionosféricos y geomagnéticos es usual determinar las cuatro principales componente ( $n = 1,2,3,4$ ). Estas componentes  $L_n$ , colectivamente son referidas como “componentes de la variación diaria lunar”, y son representados mediante la ley de fase de Chapman:

$$L_n = l_n \text{sen} (t(n - 2) + 2\tau + \lambda_n) \tag{2}$$

En consecuencia a partir de la ecuación (2), la variación lunar diaria puede ser expresado por:

$$L = \sum_{n=1}^4 l_n \text{sen} (t(n - 2) + 2\tau + \lambda_n) = \sum_{n=1}^4 l_n \text{sen} (nt - 2v + \lambda_n) \tag{3}$$



donde  $t$  es el tiempo solar local,  $\tau$  es el tiempo lunar,  $v (= t - \tau)$  es la fase (o edad) de la Luna medida por el ángulo horario entre la Luna y el Sol (incrementando de 0 horas en la Luna nueva a 24 horas en la siguiente Luna nueva), y  $\lambda_n$  es el ángulo del armónico  $n$ .

Un día lunar (intervalo de tiempo entre sucesivos tránsitos de la Luna) es aproximadamente 1.03505 días solares. Así, los periodos y las frecuencias de  $L_n$  están dados por la relación  $n - 2/M$  donde  $M = 29.530588$  es el número de días solares de un mes lunar (mes sinódico lunar). Tomando  $\alpha$  como el periodo del tiempo solar medio y  $m=1/M$ , se tienen los argumentos temporales de las variaciones  $L_n$  dados en la Tabla 1.

Componentes	Argumento temporal	Frecuencia (1/día)	Periodo (horas solares)	símbolo Darwin	Origen
$L_1$	$\alpha - 2m$	0.932274	25.743560	$\sigma_{1,1}$	lunar estacional
$L_2$	$2\alpha - 2m$	1.932274	12.420612	$m_2$	lunar
$L_3$	$3\alpha - 2m$	2.932274	8.184780		Lunar estacional
$L_4$	$4\alpha - 2m$	3.932274	6.103342	$ms_4$	Lunar estacional

**Tabla 1.** Principales componentes de la variación diurna lunar.

Usualmente la variación  $L_2$  es la de mayor amplitud y por lo general (pero no siempre) la relación de las amplitudes son:  $l_2 > l_1 > l_3 > l_4$  (Chapman, 1942). La determinación de  $l_n$  y  $\lambda_n$  son detallados por Malin y Chapman (Malin and Chapman, 1970).

### Variación solar diaria S

En la mayoría de las series de datos geofísicos, las variaciones de L son enmascaradas por las variaciones solares diarias S, que son mucho mayores. Las variaciones S dependen únicamente del tiempo solar, y pueden representarse de la forma siguiente:

$$S = \sum_{p=1}^4 S_p = \sum_{p=1}^4 s_p \text{sen}(pt + \sigma_p) \quad (4)$$

donde  $t$  es tiempo solar local,  $s_p$  y  $\sigma_p$  son la amplitud y fase del armónico  $p$ . En las variaciones S, el primer armónico  $S_1$ , es el más importante, sin embargo el resto de los armónicos modifican la curva resultante de S. La determinación de  $s_p$  y  $\sigma_p$  son detallados por Malin y Chapman (Malin and Chapman, 1970).

### Error probable de vector lunar $\rho_n$ y solar $r_n$

El método Chapman-Miller también asocia la estimación del error probable de vector, con la estimación de la amplitud y fase de una particular variación, el cual es usado para determinar la significancia de la amplitud de los términos solares y lunares. Esto resulta particularmente útil en el caso de los términos geofísicos lunares, ya que las amplitudes de estos suelen ser muy pequeños. El efecto lunar es determinado por medio de las cuatro amplitudes  $l_n$  y sus ángulos de fase asociados  $\lambda_n$ . Cada par de  $l_n$  y  $\lambda_n$  define un vector en el plano. La precisión de cada vector se mide por medio de su error probable de vector. La determinación de los errores probables de vector lunar  $\rho_n$  y solar  $r_n$ , son detallados por Malin y Chapman (Malin and Chapman, 1970). Son consideradas estadísticamente significativas aquellas amplitudes cuyo valor es al menos 2.08 veces su error probable de vector (Leaton et al, 1962).



## Variaciones estacionales de L y S

Las variaciones L y S además de los parámetros expresados en el método de Chapman-Miller (t y n para S, y t,  $\tau$  y n para L), dependen de otros parámetros. Así los términos L y S muestran cambios estacionales muy marcados durante un año, y también se observan cambios relacionados con el ciclo de actividad solar (ciclo de 11 años). Por todo ello resulta de gran interés analizar dichas variaciones.

Para el estudio de las variaciones estacionales solares y lunares, siguiendo la forma tradicional de Chapman y Miller se separan los datos en grupos denominados meses de Lloyd (meses-d: Noviembre-Diciembre-Enero-Febrero; meses-e: Marzo-Abril-Setiembre-October, meses-j: Mayo-Junio-Julio-Agosto).

En el presente trabajo se han utilizado datos promedios horarios de las tres componentes del campo geomagnético (intensidad horizontal H, declinación D e intensidad vertical Z), y la presión atmosférica registrados en el observatorio de Huancayo entre los años 2008 al 2009, debido a que estos datos corresponden al periodo de mínima actividad solar y geomagnética (fin del ciclo de actividad solar 23 e inicio del ciclo 24).

Los datos fueron analizados en su conjunto (dos años de datos), y también fueron separados en cada uno de los meses de Lloyd. Los resultados obtenidos son mostrados en las tablas 2, 3, 4 y 5, donde se observa las variaciones en amplitud y fase debido al efecto estacional. Las variaciones estacionales debido al efecto solar son distintas a las variaciones debido al efecto lunar.

INTENSIDAD HORIZONTAL H								
	Términos solares $S_n$				Términos lunares $L_n$			
	n	$s_n$ (nT)	$r_n$ (nT)	$\sigma_n$ (°)	n	$l_n$ (nT)	$\rho_n$ (nT)	$\lambda_n$ (°)
<b>Total</b>	1	35.100	0.249	286.6	1	3.780	0.277	339.2
	2	20.900	0.332	118.6	2	4.710	0.347	173.7
	3	9.780	0.187	320.2	3	3.170	0.194	5.4
	4	3.314	0.123	186.0	4	0.848	0.127	187.2
<b>meses d</b>	1	30.300	0.548	289.4	1	6.640	0.601	1.7
	2	18.700	0.453	125.9	2	7.430	0.475	190.6
	3	9.200	0.355	330.0	3	4.640	0.367	19.5
	4	3.160	0.206	183.3	4	1.010	0.213	198.6
<b>meses e</b>	1	41.200	0.546	284.6	1	4.760	0.601	322.9
	2	25.300	0.597	118.0	2	5.680	0.624	161.6
	3	12.900	0.328	325.1	3	4.030	0.340	356.2
	4	5.240	0.246	193.8	4	1.240	0.254	175.6
<b>meses j</b>	1	33.900	0.522	286.5	1	1.020	0.570	279.8
	2	18.800	0.326	112.3	2	1.680	0.341	142.2
	3	7.790	0.178	301.5	3	1.030	0.185	337.3
	4	1.310	0.159	159.4	4	(0.283)	0.164	201.3

**Tabla 2.** Términos solares y lunares de la Intensidad horizontal H.

Tanto para los términos solares y lunares, los valores entre paréntesis representan amplitudes que no son estadísticamente significativas.

Los términos solares y lunares dados en las tablas 2, 3, 4 y 5, presentan las siguientes características:

### *Intensidad horizontal H:*

- Término solar  $S_1$ : Presenta una mayor amplitud en los meses-e, y menor amplitud en los meses-d.
- Término lunar  $L_2$ : La mayor amplitud es en los meses-d, y la menor amplitud en los meses-j (cuatro veces menor respecto a los meses-d).

### *Declinación D:*

- Término solar  $S_1$ : La mayor amplitud es en los meses-d, y el de mejor amplitud en los meses-e.
- Término lunar  $L_2$ : La mayor amplitud es en los meses-e, siendo el término  $L_1$  el de mayor amplitud que  $L_2$ , la menor amplitud es en los meses-d.



DECLINACION D								
	Términos solares $S_n$				Términos lunares $L_n$			
	$n$	$S_n (^{\circ})$	$r_n (^{\circ})$	$\sigma_n (^{\circ})$	$n$	$l_n (^{\circ})$	$\rho_n (^{\circ})$	$\lambda_n (^{\circ})$
<b>Total</b>	1	0.504	0.018	290.4	1	0.091	0.020	26.7
	2	0.211	0.013	99.8	2	0.062	0.014	205.2
	3	0.301	0.009	233.9	3	0.022	0.009	11.9
	4	0.119	0.006	52.4	4	(0.005)	0.007	359.9
<b>meses d</b>	1	0.911	0.044	257.1	1	(0.085)	0.048	71.0
	2	0.753	0.023	116.9	2	0.086	0.025	61.3
	3	0.485	0.016	290.4	3	0.064	0.017	271.1
	4	0.089	0.012	147.9	4	(0.015)	0.013	276.0
<b>meses e</b>	1	0.416	0.038	276.5	1	0.171	0.042	17.4
	2	0.301	0.027	45.5	2	0.123	0.028	230.6
	3	0.448	0.020	232.1	3	(0.034)	0.021	83.4
	4	0.199	0.008	76.7	4	(0.013)	0.009	81.6
<b>meses j</b>	1	0.695	0.028	343.6	1	0.076	0.030	356.6
	2	0.264	0.019	281.0	2	0.126	0.020	204.1
	3	0.420	0.012	167.3	3	0.059	0.012	47.3
	4	0.232	0.009	13.2	4	(0.013)	0.009	9.1

Tabla 3. Términos solares y lunares de la Declinación D.

INTENSIDAD VERTICAL Z								
	Términos solares $S_n$				Términos lunares $L_n$			
	$n$	$s_n (nT)$	$r_n (nT)$	$\sigma_n (^{\circ})$	$n$	$l_n (nT)$	$\rho_n (nT)$	$\lambda_n (^{\circ})$
<b>Total</b>	1	2.680	0.078	30.7	1	0.422	0.086	99.6
	2	1.080	0.063	207.4	2	0.414	0.066	303.3
	3	0.721	0.060	278.5	3	0.232	0.062	73.0
	4	0.528	0.045	76.4	4	(0.041)	0.047	216.8
<b>meses d</b>	1	3.180	0.196	7.6	1	(0.364)	0.214	154.4
	2	2.890	0.118	196.2	2	0.413	0.124	23.3
	3	1.710	0.081	355.8	3	(0.130)	0.084	358.5
	4	0.360	0.073	192.5	4	(0.115)	0.076	242.7
<b>meses e</b>	1	2.170	0.138	29.8	1	0.848	0.152	92.5
	2	0.124	0.131	110.4	2	0.867	0.137	294.7
	3	1.380	0.101	263.0	3	0.401	0.105	95.4
	4	0.971	0.049	96.4	4	0.096	0.050	163.1
<b>meses j</b>	1	2.830	0.139	49.5	1	0.373	0.152	42.2
	2	0.881	0.102	279.4	2	0.338	0.107	263.1
	3	1.220	0.076	203.4	3	0.253	0.079	76.7
	4	1.000	0.064	45.3	4	(0.047)	0.066	357.6

Tabla 4. Términos solares y lunares de la Intensidad vertical Z.

*Intensidad vertical Z:*

- Término solar  $S_1$ : La mayor amplitud es en los meses-d, seguido por los meses-j, y finalmente el de menor amplitud es en los meses-e.
- Término lunar  $L_2$ : La mayor amplitud es en los meses-e, y el de mejor amplitud corresponde a los meses-j.

Para la presión atmosférica las amplitudes  $l_1$ ,  $l_3$ , y  $l_4$  muestran valores estadísticamente no significativos, esta característica fue observado por Malin y Chapman en la presión barométrica (Malin and Chapman, 1970).

Los términos solares y lunares en la presión atmosférica muestran las siguientes características:



PRESION ATMOSFERICA								
	Términos solares $S_n$				Términos lunares $L_n$			
	$n$	$S_n$ (mmHg)	$r_n$ (mmHg)	$\sigma_n$ (°)	$n$	$l_n$ (mmHg)	$\rho_n$ (mmHg)	$\lambda_n$ (°)
<b>Total</b>	1	1.020	0.010	28.4	1	(0.008)	0.011	90.2
	2	0.870	0.006	178.6	2	0.027	0.007	64.7
	3	0.075	0.003	9.3	3	(0.004)	0.003	162.9
	4	0.080	0.003	3.8	4	0.008	0.003	196.6
<b>meses d</b>	1	0.861	0.019	32.6	1	(0.028)	0.021	123.2
	2	0.841	0.011	177.6	2	(0.017)	0.011	52.6
	3	0.014	0.006	18.5	3	(0.009)	0.007	132.8
	4	0.085	0.005	10.2	4	0.013	0.005	169.1
<b>meses e</b>	1	1.010	0.021	30.1	1	(0.016)	0.023	124.9
	2	0.892	0.009	179.4	2	0.033	0.009	58.2
	3	0.090	0.006	8.6	3	(0.009)	0.006	243.9
	4	0.077	0.005	3.6	4	(0.007)	0.005	295.0
<b>meses j</b>	1	1.190	0.021	23.9	1	(0.035)	0.022	335.3
	2	0.875	0.008	178.6	2	0.029	0.008	69.1
	3	0.121	0.005	8.6	3	(0.004)	0.005	89.4
	4	0.080	0.004	357.6	4	0.011	0.004	200.5

**Tabla 5.** Términos solares y lunares de la Presión Atmosférica.

- Términos solares: Las amplitudes de los términos solares  $S_1$  y  $S_2$  son los principales contribuciones, siendo los otros restantes de muy poca contribución.
- Términos lunares: Las amplitudes de los términos lunares  $L_1$ ,  $L_3$  y  $L_4$  estadísticamente son valores no significativos. El término lunar  $L_2$  muestra mayores amplitudes en los meses-e y meses-j, mientras que en los meses-d las amplitudes son prácticamente nulas.

### Rangos solares R(S) y lunares R(L)

Las variaciones solares y lunares diarias están sujetas a cambios estacionales (ver tablas 2, 3, 4, y 5). Estudios pasados han llevado a distintas conclusiones. Así, por ejemplo, Chapman y Bartels (Chapman and Bartels, 1940) sostienen que la variación estacional de L en datos geomagnéticos es mucho mayor que la de S, mientras que Matsushita y Maeda (Matsushita and Maeda, 1965) concluyen que ambas variaciones son similares (Cueto, 2001).

El rango solar R(S) se define como la diferencia entre el mayor y el menor de los 24 valores horarios diarios de S. El error probable de R(S) es definido como r, que viene dado por la expresión:

$$r = 1.146 \left[ \sum_{n=1}^4 r_n^2 \right]^{1/2} \tag{5}$$

donde  $r_n$  es el error probable de vector de cada término solar.

Debido a que L varía día a día, con un patrón que se repite cada mes sinódico lunar (29.53 días solares). Se define el rango lunar R(L) como la media de los rangos diarios de los 24 valores horarios calculados a partir de la ecuación (3), habrá épocas a lo largo de un periodo de tiempo largo en que los cuatro términos lunares  $L_n$  se aproximen a sus valores máximos o mínimos. Por lo que para un periodo largo de tiempo se define el rango lunar, R(L) como:

$$R(L) = 2 \sum l_n \tag{6}$$

donde  $l_n$  es la amplitud de cada componente lunar. El error probable de R(L) es definido como  $\rho$  y su expresión matemática es similar a la ecuación (5) donde  $r_n$  es remplazado por  $\rho_n$ . La razón es el rango anual dividido entre el rango de cada uno de los meses de Lloyd. Los rangos de las variaciones solares diarias R(S) y lunares R(L) son determinadas en la tabla 6, con la finalidad de tener una mejor apreciación del efecto de las variaciones estacionales.



Para la intensidad horizontal H, las razones de los rangos solares son mayores en los meses-e, y menores en los meses-d, mientras que las razones de los rangos lunares son mayores en los meses-d, y mucho menor en los meses-j.

	Tipo de Datos	Intensidad Horizontal H			Declinación D			Intensidad Vertical Z			Presión Atmosférica		
		R(S)	r	razón	R(S)	r	razón	R(S)	r	razón	R(S)	r	razón
Rangos solares	Total	90.27	0.54	1.00	1.58	0.13	1.00	7.92	0.14	1.00	3.24	0.01	1.00
	meses d	80.05	0.94	0.89	3.13	0.06	1.98	12.70	0.29	1.60	2.88	0.03	0.89
	meses e	109.16	1.04	1.21	1.84	0.06	1.16	7.68	0.25	0.97	3.25	0.06	1.00
	meses j	83.49	0.76	0.92	2.28	0.04	1.44	8.02	0.23	1.01	3.59	0.03	1.11
Rangos lunares	Datos	R(L)	$\rho$	razón	R(L)	$\rho$	razón	R(L)	$\rho$	razón	R(L)	$\rho$	razón
	Total	25.02	0.57	1.00	0.36	0.09	1.00	2.22	0.15	1.00	0.09	0.05	1.00
	meses d	39.44	1.00	1.58	0.50	0.07	1.39	2.04	0.31	0.91	0.13	0.10	1.44
	meses e	31.42	1.11	1.26	0.68	0.12	1.89	4.42	0.27	1.99	0.13	0.07	1.44
	meses j	8.03	0.81	0.32	0.55	0.04	1.53	2.02	0.24	0.91	0.16	0.05	1.78

**Tabla 6.** Rangos solares y lunares y sus razones respectivas.

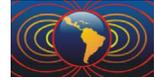
Para la declinación D, las razones de los rangos solares son mayores en los meses-d, y menor en los meses-e, en tanto que las razones de los rangos lunares son mayores en los meses-e y menores en los meses-d. Para la intensidad vertical Z, las razones de los rangos solares son mayores en los meses-d y menor en los meses-e, mientras que para el caso lunar son mayores en los meses-e y menor en los meses-d. Para la presión atmosférica, las razones de los rangos solares son relativamente mayores en los meses-j, y ligeramente menores en los meses-d, en cuanto a la parte lunar es relativamente mayor en los meses-j.

## Conclusiones

Mediante el método de Chapman-Miller se ha analizado las variaciones geomagnéticas y presión atmosférica diarias solares y lunares en el observatorio geomagnético de Huancayo. El número de valores no significativos en los términos lunares es mucho mayor respecto a los correspondientes términos solares. Esto se debe a que la contribución lunar debido al efecto gravitacional es mucho menor que la contribución solar debido al efecto térmico, por lo que es requerido una serie de datos de varios años para obtener resultados significativos. Tanto para el campo geomagnético y la presión atmosférica la mayor parte de los términos no significativos se encuentran en los términos lunares de primer y cuarto orden. En los términos solares la mayor amplitud corresponde a la variación diurna  $S_1$ , mientras que en los términos lunares la mayor amplitud corresponde a la variación semidiurna  $L_2$ . En el presente trabajo es demostrada la influencia lunar en la presión atmosférica pero sin embargo es poco significativa respecto a la contribución de origen solar.

## Referencias

- Chapman, S., 1935. The Lunar Tide in the Earth's Atmosphere, Proc. R. Soc. Lond.
- Chapman, S., Miller J. C. P., 1940. The statistical determination of lunar daily variations in geomagnetic and meteorological elements. *Monthly Notes of the Royal Astronomical Society Geophysical Supplement*, Vol. 4, No. 9, 649 p.
- Chapman, S., 1942. Notes on the lunar geomagnetic tide: I – Its mathematical and graphical representations, and their significance. *Terrestrial Magnetism and Atmospheric Electricity*, Vol. 47, No. 4.
- Chapman, S., and Malin S. R. C., 1970. Atmospheric tides, Thermal and Gravitational: Nomenclature, Notation and New Results. *Journal of the Atmospheric Sciences*, Vol. 27, No. 5.
- Cueto, M. S., 2001. Análisis de las variaciones geomagnéticas diarias solares y lunares en los observatorios españoles, Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Ciencias Físicas.



- De Meyer, F., 2003. A modulation model for the solar and lunar daily geomagnetic variations. *Herat Planets Space*, 55, 405-418.
- Leaton, B. R., Malin S. R. and Finch H. F, 1962. The solar and luni-solar daily variation of the geomagnetic field at Greenwich and Abinger. *R. Obs. Bull. Lond.*, 63, 1916-1957.
- Malin, S. R. C., and Chapman S., 1970. The Determination of Lunar Daily Geophysical Variations by the Chapman-Miller Method, *Geophys. J. R. Astr. Soc.*, 19, 15-35.
- Matsushita, S., and Campbell, W. H., 1967. *Physics of Geomagnetic Phenomena*, Vol. I, New York and London, Academic Press. 302-392.
- Matsushita, S, Maeda, H., 1965. On the geomagnetic lunar quiet daily variation field during the I.G.Y. *J. Geophys. Res.*, 70, 2535-2578.