

DESCARGAS ELÉCTRICAS ATMOSFÉRICAS (DEA's – RAYOS)
CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES EN EL CIELO BOLIVIANO

CHARACTERISTIC ELECTRICAL ATMOSPHERIC DISCHARGES IN THE BOLIVIAN SKY

EDGAR LIBORIO RICALDI-YARVI¹, RENÉ TORREZ-SANTALLA², CARLA QUISPE, & JAVIER QUISPE-MAMANI¹

Instituto de Investigaciones Físicas

¹ Área de Geofísica (AGF),

² Área de Energías Alternivas,

Universidad Mayor de San Andrés

c. 27 Cota-Cota, Campus Universitario, Casilla de Correos 8635

La Paz - Bolivia

(Recibido 20 de febrero de 2018; aceptado 30 de agosto de 2018)

RESUMEN

Los registros del Seguidor de Tormentas Eléctricas Atmosféricas, localizada en la comunidad de Patacamaya, 17.2608° latitud Sur, 67.9481° longitud Oeste y 3794 *m.s.n.m.*, de los años 2012 a 2015 fueron sometidos a un primer análisis con la finalidad de obtener las características principales de las mismas en el cielo boliviano, en realidad en el denominado Territorio de Observación que cubre las áreas de los siguientes departamentos de Bolivia: más de la mitad de La Paz, Oeste del Beni, el Oeste de Santa Cruz, el Noroeste de Chuquisaca, todo Oruro, todo Cochabamba y toda la parte Norte de Potosí. Se realiza una primera clasificación de los registros de las Descargas Eléctricas Atmosféricas (DEA's) en: Comportamiento Regular (CDR) e Irregular (CDI), diversas variedades. En base al estudio del CDR de las DEAs, se explora el Comportamiento Anual (CA) del mismo, las mismas nos dicen que: el área donde se desarrollan las DEA's en la práctica son las mismas donde se presentan las áreas de masas húmedas de la atmósfera, las nubes. La posición de las mismas obedece a dos movimientos astronómicos fundamentales, el movimiento de la Tierra sobre la eclíptica y al movimiento rotacional de la Tierra sobre su propio eje y a factores morfológicos de la superficie de la Tierra (las cordilleras). Los mismos que definen el comportamiento temporal y espacial de las masas húmedas, la dirección de los vientos y el estancamiento de las mismas. El Comportamiento Secular (CS) está en directa relación con los cambios climáticos naturales globales como el Niño, la Niña y el comportamiento de los Monzones climáticos.

Código(s) PACS: a92.60.Pw — 95.75.Wx — 91.25.G

Descriptores: Descriptores: Descargas eléctricas atmosféricas — series de tiempo — distribución espacial

ABSTRACT

Data obtained from a Storm Tracker PCI (Boltek), located in the community of Patacamaya, 17.2608° South Latitude, 67.9481° West longitude and at 3794 meters above sea level, between the years 2012-2015 were first analysed to identify the phenomenology of atmospheric electrical discharges in the Bolivia sky. The territory under observation covers areas in the following Departments of the Plurinational State of Bolivia: more than half of La Paz, West Beni, West Santa Cruz, Northwest Chuquisaca, Oruro, Cochabamba and the Northern part of Potosí. A first classification of the atmospheric electrical discharge data (AED) is performed in order to obtain: the regular and irregular behavior of several discharge types. Based on the steady regular behavior of AED, the annual performance of AED is explored. It is found that the areas where lightning regularly strikes are places characterised by the presence of wet cloud masses. The position of the cloud masses is due to two fundamental astronomical movements, the movement of the Earth on the ecliptic and the rotational movement of the Earth on its axis, as well as, morphological factors of the Earth's surface (ridges). These define the temporal and spatial behavior of wet masses, the wind direction and their stagnation. The characteristic behavior observed is directly related to natural global climate changes such as the climate phenomenon known as "El Niño", "La Niña" and monsoon climate behavior.

Subject headings: Atmospheric electricity — time series analysis — spatial distribution

1. INTRODUCCIÓN

Para la realización del presente trabajo se utilizaron los registros diarios obtenidos por el

Seguidor de Tormentas (ST), Stormtracker – PCI, marca BOLTEK de origen canadiense, instalado en la localidad de Patacamaya, a 17.2608° de Latitud sur y a 67.9481° de Longitud Oeste a 3794 m.s.n.m. . El Seguidor de Tormentas en Enero de 2012 inicia su trabajo de obtención de datos y ha estado trabajando continuamente hasta la fecha, de manera que ya se cuentan con tres años de registros, se ha hecho uso de los registros del 2012 al 2015. El análisis del comportamiento de las Descargas Eléctricas Atmosféricas (**DEA's**) se limita al total de las **DEA's**, que involucra a todas las **DEA's**, efectivas y ruido, tal como vienen los registros brutos. El área de observación del STA fue ajustado a 600 [km] a la redonda, pero los datos analizados son restringidos a un radio de 400 [km] , por considerar inseguros los datos provenientes de distancias lejanas. Esta restricción en términos geográficos corresponde a un Territorio de Observación (TO) que incluye el Sur del Departamento de La Paz, Oeste del Departamento del Beni, Oeste del Departamento de Santa Cruz, El Noroeste del Departamento de Chuquisaca, El Departamento de Potosí y el Departamento de Oruro.

2. CLASIFICACIÓN DE LOS REGISTROS DE LAS DESCARGAS ELÉCTRICAS ATMOSFÉRICAS (DEA's)

La estructura de las tablas de los registros diarios nos permiten clasificar los mismos desde dos puntos de vista: su comportamiento temporal, generando de gráficas de actividad y su comportamiento espacial generando mapas de densidades eléctricas (Krider & Noggli 1975.).

2.1. Comportamiento Temporal (CT)

Comportamiento Diario (CD)

En el estudio de los registros diarios de las **DEA's** se ha introducido dos magnitudes que caracterizan convenientemente el comportamiento de los rayos, la primera de estas es la frecuencia:

$$f = n \cdot \frac{\text{DEA's}}{t} \quad (1)$$

donde f es la frecuencia del número de **DEA's** sobre unidad de tiempo t . La segunda caracteriza la actividad de rayos a diario, este parametro suele ser muy variable, pero tambien se observa como los rayos mantienen una cierta regularidad en el tiempo por las características del contexto ambiental y esta es definida como:

$$A = n \cdot \frac{\text{DEA's}/t}{\Delta t} = \frac{f}{\Delta t} \quad (2)$$

donde A es la actividad de rayos definida como la frecuencia por intervalo de tiempo Δt . Los registros diarios se clasifican en dos tipos de registros: (a) registros con comportamiento regular y (b) registros con comportamiento irregular.

2.1.1. Comportamiento Regular Diario (CRD)

El registro de comportamiento regular diario (RCRD) se caracteriza por la no presencia de **DEA's** en las horas de la madrugada y de la mañana y la presencia de **DEA's** solo en horas de la tarde. La actividad de las **DEA's** en este caso es creciente desde las 12 [h] hasta las 18 [h], durante 6 horas, con máximo que se alcanza alrededor de las 17 [h], a continuación la actividad es rápidamente decreciente, desde las 17 [h] hasta las 22 [h], 3 horas. Los registros con estas características no son numerosos dentro de un mes y además pueden mostrar diferentes niveles de actividad, pero todos muestran el mismo comportamiento (ver Fig.[1]). A partir de estos registros se puede determinar el Promedio del Comportamiento Regular Diario Mensual (PCRDM) de las **DEA's** como se muestra en la gráfica Fig.[2 (a)].

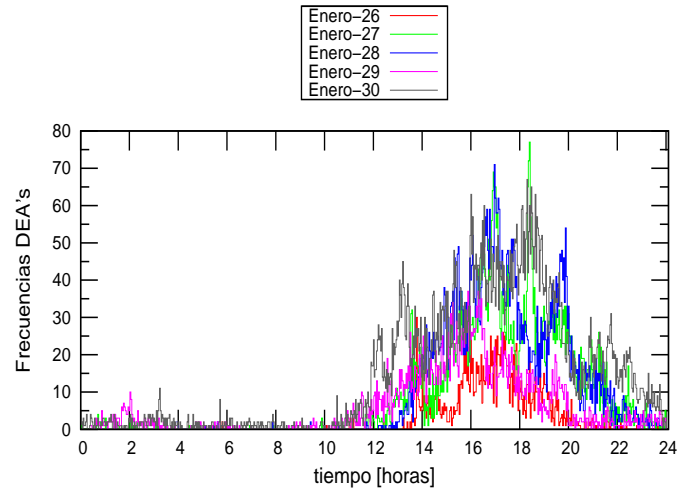


FIG. 1.— Registros del comportamiento regular diario de un mes.

La Fig.[2 (a)] del PCRDM puede ser ajustada por una curva que represente el modelo del PCRDM por medio de armónicos de una serie de Fourier (Rakov & Uman 2009; Lucas 2001; Metz-Nablat & Mila 2009), con las siguientes componentes generales.

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} \left[a_n \cos\left(\frac{2n\pi}{T}t\right) + b_n \text{sen}\left(\frac{2n\pi}{T}t\right) \right] \quad (3)$$

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + a_1 \cos\left(\frac{2\pi}{24}t\right) + b_1 \text{sen}\left(\frac{2\pi}{24}t\right) + a_2 \cos\left(\frac{4\pi}{24}t\right) + b_2 \text{sen}\left(\frac{4\pi}{24}t\right)$$

La gráfica Fig.[2 (b)] ilustra los valores de los coeficiente de fourier de las funciones seno y coseno que se ajustan al PCRDM.

PCRDM y el Modelo del Comportamiento Regular Diario Mensual (MCRDM) son generados para cada

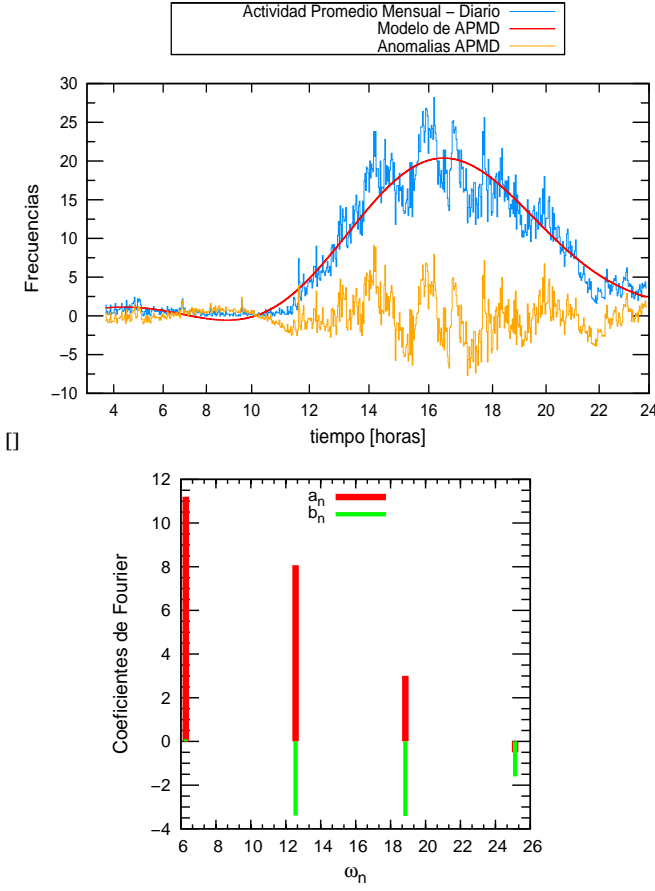


FIG. 2.— (a): Promedio del comportamineto regular diario mensual (azul), Modelo del comportamineto regular diario mensual (roja) y anomalia diaria (amarilla). (b): Representación gráfica de los coeficientes de fourier

uno de los meses, tomando en consideración que la actividad de las **DEA's** es nula o mínima en los meses correspondientes al invierno austral.

2.1.2. Comportamiento Irregular de las DEAs (CID)

Las CID's ya no siguen el patrón del comportamiento de las de CRD y más bien se las puede agrupar en algunos tipos de curvas, entre las que podemos mencionar:

1. Registros con DEA's por las madrugadas y con DEA's por las tardes (DEAM – DEAT),
2. Registros comenzando con DEAs desde la madrugada eliminando las DEAs de la tarde (DEAPNT).
3. Registro con DEA's Pulsantes durante el día (DEAPS),
4. Registro con DEA's de Pulsos Agudos Regulares e Irregulares (DEAPA, DEAPI)
5. Registros con DEA's constituidos por Pulsos Agudos Esporádicos (PAE)y
6. Registros como Pulsaciones Menores o ruido (RA).

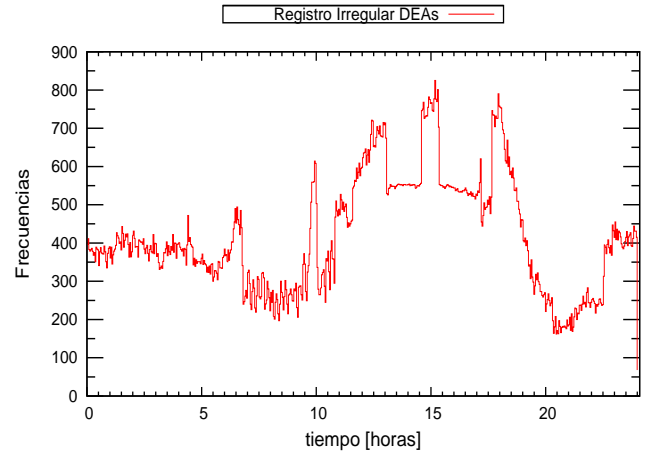


FIG. 3.— Comportamineto Irregular diario de DEA's

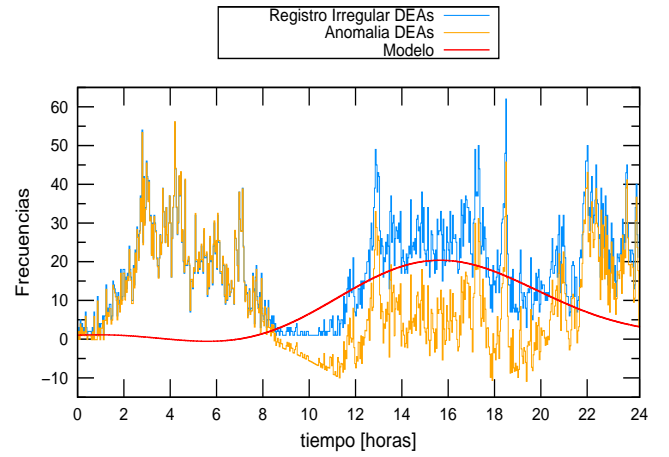


FIG. 4.— Modelo del comportamineto regular diario mensual (roja), comoportamineto Irregular DEA's (Azul) y anomalia diaria (amarilla).

Son los comportamientos de las DEA's que serán estudiadas con mayor detalle en trabajos posteriores haciendo uso de los Modelos de Comportamiento Regular Diario Mensual (MCRDM), que son el resultado del ajuste de una función de Series de Fourier de 5 armónicos a las curvas Promedio del Comportamiento Regular Diario Regular Mensual (PCRDM) de los registros correspondientes a los días de Comportamiento Regular Diario (CRD), restado sus valores de Registros con Comportamiento Irregular Diario de las DEAs, pueden producir las denominadas Curvas de Residuos de las DEA's o Anomalías de las DEA's respecto del Comportamiento Regular Diario la cual es mostrada en la Fig.[3] y Fig.[4] constituyendo una buena técnica para el estudio.

3. ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO TEMPORAL DE DEA'S

Iniciamos este estudio comenzando con el comportamiento regular diario (CRD) de la DEA's para luego, estudiar el comportamiento de las DEAS en periodos de observación de mayor tiempo: El Comportamiento Anual (CA–CRD) de las DEAs y el comportamiento secular (CS–CRD) de las DEA's.

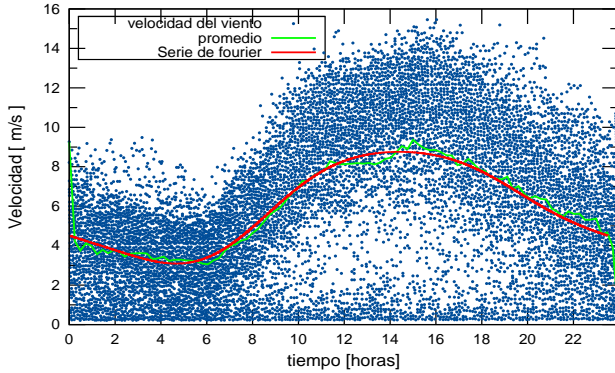


FIG. 5.— Comportamiento regular diario mensual de la velocidad del viento, la línea de color verde representa el promedio diario mensual.

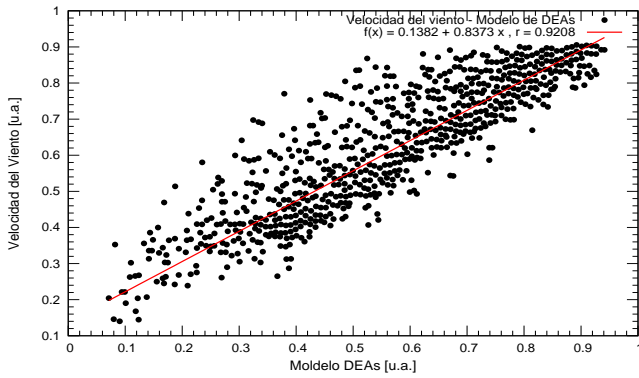


FIG. 6.— Correlación entre el comportamiento regular diario mensual de DEA's y el comportamiento regular diario mensual de la velocidad del viento.

Entonces, se ingresara al estudio de los detalles menores, de los registros correspondientes al comportamiento regular diario de las DEA's.

3.1. Comportamiento Regular Diario de las DEAs (CRD)

La gráfica del PCRDM o de su modelo por Armónicos de Fourier (MCRD–AF) resultan estar en perfecta correlación con los registros de Velocidad de los Vientos (VV) de las estaciones meteorológicas situadas dentro del territorio de observación y de la Temperatura del Suelo a 15 [cm] de profundidad, en condiciones climáticas semejantes a los que definen los registros en días de comportamiento regular diario de DEA's. Vease las Fig.[5], Fig.[6], Fig.[7] y Fig.[8].

Los registros de las temperaturas de la atmósfera, en estas mismas condiciones comienzan por las mañanas aproximadamente a las 6 [h] y muestran un máximo a las 12 del mediodía para anularse a las 18 [h]. Estos registros nos permiten indicar que la radiación solar se acumularía en forma de calor durante toda la mañana tanto en la atmósfera como con un retraso de 6 horas en el suelo, como se indico a 15 [cm] de profundidad (z), para que a partir del medio día ambas fuentes (medios: atmósfera y capa superficial de suelo) empiecen a liberar el calor acumulado hacia la atmósfera generando condiciones

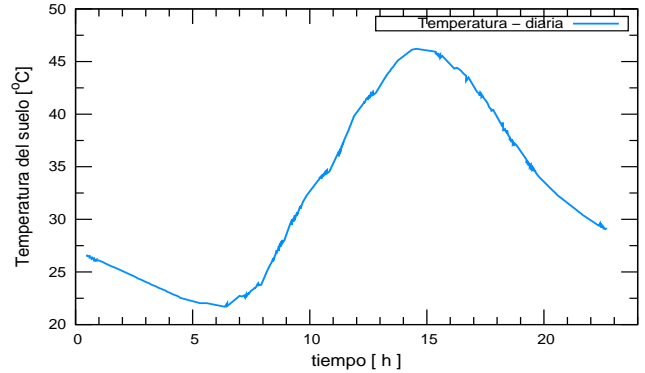


FIG. 7.— Comportamiento regular diario de la temperatura del suelo

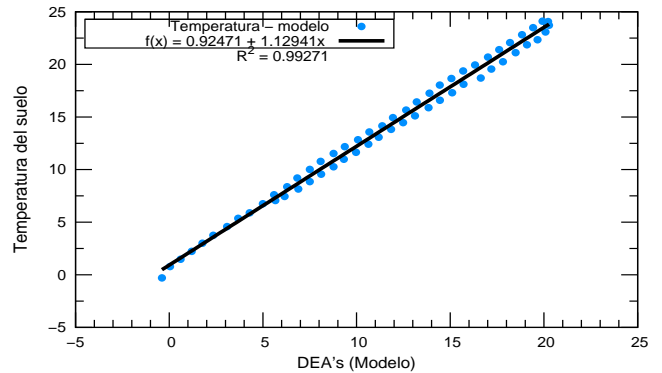


FIG. 8.— Correlación entre el comportamiento regular diario mensual de DEA's y el comportamiento regular diario de la temperatura del suelo.

de movimientos convectivos de las masas de aire y en consecuencia DEA's de todo tipo (descargas eléctricas efectivas (rayos nube-nube, rayos nube-tierra) y ruido (Metz-Nablat & Mila 1998; Rousseau et al. Upsala, Sweden, 2008).

3.2. Comportamiento anual (CA)

Con el fin de observar el comportamiento anual establecemos la magnitud denominada actividad anual:

$$\text{Actividad anual} = \text{Actividad (por meses)}$$

La cual es generada en función de los valores máximos del promedio del comportamiento regular diario mensual (PCRDM). La Fig.[9] muestra el CA de las DEA's que están en directa relación con el comportamiento climático anual, es decir, con las estaciones climáticas del año. Claramente las DEA's están completamente vinculadas a la época húmeda del año en esta región (Primavera, Verano en el hemisferio Sur) y se desarrollan aparejadas a la misma como se observa en la Fig.[9].

La Fig.[9] permite disgregarla en periodos de tiempo e interpretarlas como una función de las características del territorio de observación.

El ingreso de las nubes en el territorio de observación Fig[10], se produce en nuestro caso a fi-

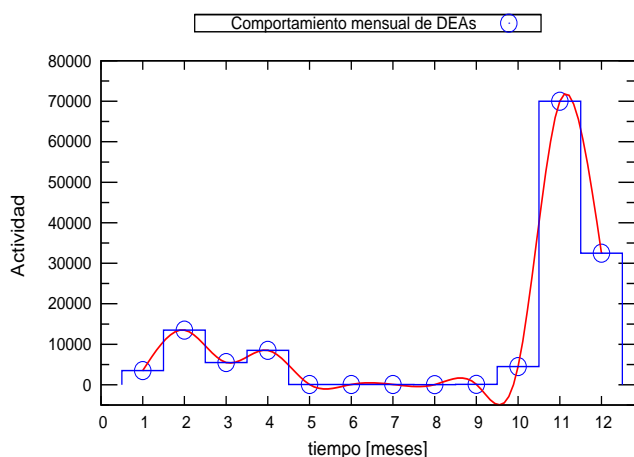


FIG. 9.— Comportamiento anual de CRD de las DEA's.

nales de Septiembre, Noviembre y Diciembre, caracterizada por una actividad creciente de DEAs, mostrando un máximo a finales de Noviembre (25 de Noviembre), pulso que coincide con el paso del Sol por el Zenit de Patacamaya en su recorrido a latitudes del Sur.

Se observa un periodo de estancamiento de nubes en el territorio en consideración, en los meses: finales de Diciembre, Enero, un pulso en Febrero, continuando hasta inicios de Marzo, caracterizado por una mediana actividad de DEA's con un máximo en Febrero (Fig[10]). El comportamiento de este periodo corresponde al denominado invierno boliviano caracterizado por un bajón de las temperaturas durante el verano austral, debido precisamente al estancamiento de nubes en el territorio de observación por efecto de la presencia del Macizo Andino (MA) y las alturas que la caracterizan, constituido por: La cordillera de los Andes, cordillera Oriental, Cordillera Oriental y el Altiplano.

El repliegue de las masa de nubes del territorio de observación, que se produce en los meses finales de Marzo y Abril, caracterizado por una decreciente actividad de DEA's, con un pulso en Abril (16 de Abril), correspondiente al paso del Sol por la latitud de Patacamaya en su recorrido de regreso a latitudes del Norte.

Periodo de anulación de las DEAs se produce en la época seca (Otoño e Invierno del hemisferio Sur). Cabe, sin embargo, mencionar la presencia de registros episódicos de menor actividad correspondientes al ingreso de nubes desde el sur, durante los denominadas Surazos (a fines de Junio, a mitad de Julio, comienzos de agosto y a mitad de Agosto).

Toda esta información ofrecida por los registros de las DEAs correspondientes a Días de Comportamiento Regular en todas sus componentes nos permiten formular y confirmar cuales serian los factores que las estarían regulando.

3.3. Factores que contribuyen al Comportamiento Anual de las DEA's

3.3.1. Factores Astronómicos que contribuyen al comportamiento de las DEA's

Podemos observar dos movimientos que contribuyen a determinar las características temporales y espaciales de las DEA's, también de las nubes:

El movimiento de la tierra sobre la eclíptica o del Sol sobre el Zenit, de Norte a Sur correspondiente a los periodos de ingreso de las nubes al territorio de observación, el periodo de estancamiento de las nubes hasta cuando el sol alcanza el Solsticio de Verano austral y el movimiento del Sol, a partir del Sur hacia el norte definiendo el periodo de repliegue de las nubes del territorio de observación. Este movimiento se realiza a una velocidad promedio de $0,334 [m/s]$ ($28 [km/dia]$) El movimiento de la Tierra, en 24 horas, sobre su propio eje de Oeste hacia el Este, con una velocidad superficial variable, en nuestro caso aproximadamente de $380 [m/s]$. La velocidad tangencial provocada por el movimiento de la tierra sobre su propio eje domina, provocando vientos en dirección Oeste (del Este). La fuente de calor (haz de radiación solar sobre la superficie de la tierra) arrastra las grandes masas de nubes, generando por su parte trasera una estela de masas de nubes frías que se mueven hacia la fuente caliente por transferencia térmica convectiva.

Estas anotaciones son validas para una superficie esférica homogénea. Para una descripción más realista hay que añadir otros factores que puedan influir en el movimiento de las nubes.

3.3.2. Los circuitos atmosféricos del hemisferio sur

En la zona entre los 5° a 30° de Latitud Sur, se establece la primera Celda de Hadley, caracterizado por amplios movimientos convectivos, se localiza ocupando el territorio de observación de la antena del seguidor de tormentas (ST), caracterizado por vientos provenientes del Este que influyen en el movimiento de la atmósfera de manera global Fig[10].

3.3.3. Factores morfo geológicos u orográficos

Para nuestros propósitos estos son de enorme importancia. De los factores morfo geológicos en territorio boliviano el más importante es la presencia del Macizo Andino (MAN), conformada por las cordilleras Real u Oriental, la Cordillera Occidental y el Altiplano boliviano. El Macizo Andino (MAN) localiza las DEAs en su gran mayoría al Este de la Cordillera Real, en sus faldas, sobre el limite montaña – llano (Chapare y los Yungas) y los llanos orientales. Una línea de dirección Noroeste Sur este que hace un ángulo de 30° con la línea de latitud 18° Sur, partiendo desde aproximadamente la ciudad de Santa Cruz en Bolivia. Sin embargo, también se desarrollan DEA's sobre una línea paralela a la anterior mencionada, a una distancia de separación entre ellas de aproximadamente $140 [km]$ al sur, que involucra el límite entre los departamen-

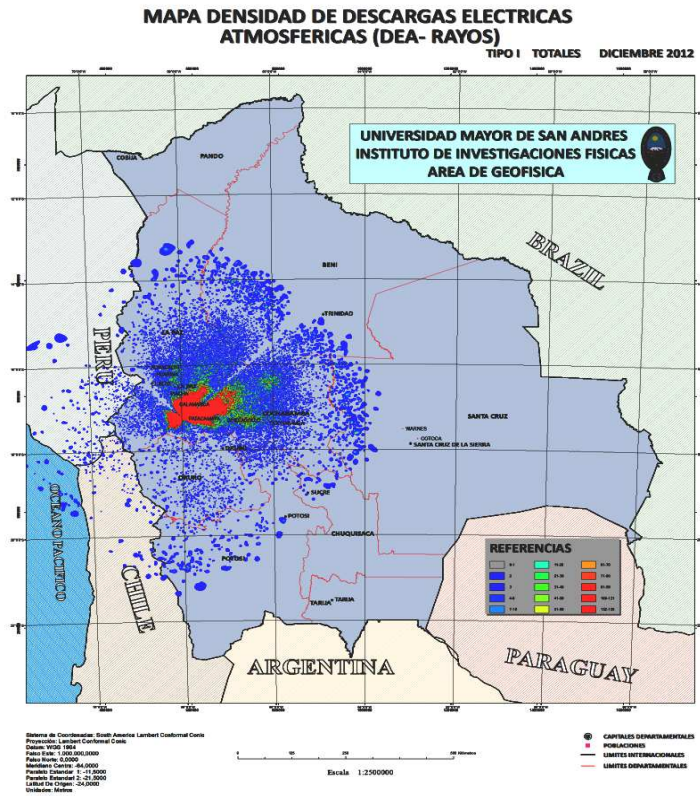


FIG. 10.— Comportamiento anual de CRD de las DEA's.

tos de Chuquisaca y Cochabamba y el Norte de Potosí, debido fundamentalmente a factores orográficos favorables, presencia de valles amplios y profundos con directa conexión con los valles de orientación norte–sur de los territorios del sureste del país.

3.3.4. Factor de heterogeneidad de los materiales del suelo

Queda formulada como hipótesis, como factores que definen los tipos de DEA's que se producen a lo largo y ancho del territorio de observación. Todos estos territorios están situados al Este del Meridiano de Patacamaya.

4. COMPORTAMIENTO SECULAR (CS)

Las DEA's varían en Actividad de año a año como lo muestra la Fig.[11],

$$A_s = f_{max}(\text{años}) \quad (4)$$

donde A_s es la Actividad secular y es igual a f_{max} frecuencia máxima por año.

Las Fig.[11] y Fig.[12] ilustra la concentración de las lluvias y en consecuencia de las DEA's al 20 de Febrero, aumentando su frecuencia, disgregándolas a regiones pequeñas mucho más puntuales, disminuyendo su densidad. Dejando inferir en líneas generales que la localización y la densidad de las DEA's son variables de año en año.

Estudios mas detallados seran motivos de futuros

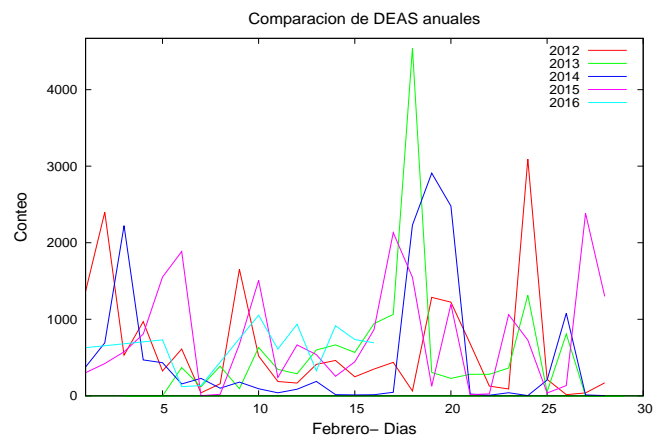


FIG. 11.— Comportamiento regular diario por cada año de DEA's.

trabajos.

El comportamiento de las DEA's Regulares acompaña a los cambios climáticos naturales. En el año de presencia del fenómeno climático La Niña (2012) la humedad penetra muy profundamente en el Altiplano Sur, generando DEA's en estas áreas: En el lado Oeste del Lago Titicaca, el lado Oeste de Oruro (salar de Uyuni), El lado Oeste de Potosí (Salar de Uyuni). También, en este año se generan DEA's, en los Yungas y Valles del Sureste, disminuyendo en los llanos del Noreste. Durante el año de

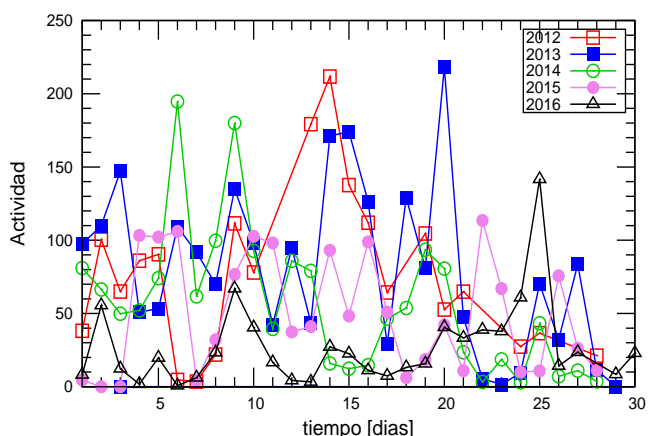


FIG. 12.— Comportamiento anual de precipitaciones pluviales por año.

desarrollo del fenómeno climático El Niño (2015) las DEAs quedan restringidas a la región del altiplano norte, reduciéndose en las regiones anteriormente mencionadas, concentrándose al Norte y al Noreste del territorio de observación. En línea generales está en función del comportamiento de los monzones en el hemisferio Sur.

5. COMPORTAMIENTO ESPACIAL DE LAS DEA'S

El presente estudio se realiza considerando dos variables importantes:

- La densidad de las DEA's

$$D_{DEA's} = n \frac{DEA's}{A_{sup.}} \quad (5)$$

donde $D_{DEA's}$ es la densidad de DEA's por unidad de superficie

- Índice Keraúnico o Ceraúnico

$$I_C = n \frac{DEA's}{A_{sup.} \cdot years} \quad (6)$$

donde, I_C es el índice ceraúnico y es igual al número de DEA's por unidad de área por año.

Para la realización de este trabajo se procesaron los datos de manera que se obtuvieron nuevos registros diarios de las variables X y Y no repetidas, más una columna que indica cuantas veces se han repetido las mismas en el registro original inicial. A partir de estos registros se pueden producir mapas de densidades de DEA's, con ayuda de software graficador en 2D y/o 3D a saber Matlab, Gnuplot, Surfer y ArcGIS entre otros.

Siguiendo el tratamiento del comportamiento de datos de las DEA's en el tiempo, también es posible establecer gráficas bidimensionales (mapas) correspondientes a las Fig.[13] y Fig.[14]. Periodos de comportamiento regular, ingreso, estancamiento

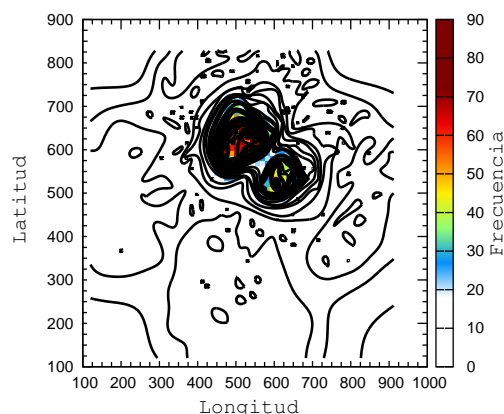


FIG. 13.— Mapa (2D) de densidades de DEA's (Enero 2012). El sensor se encuentre en (500, 500) (expresado en píxeles)

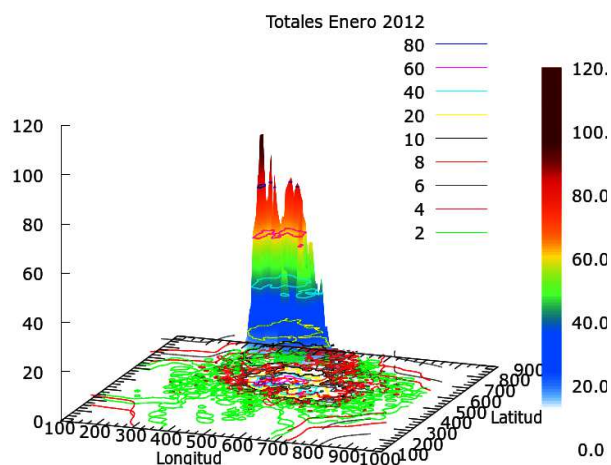


FIG. 14.— Gráfica (3D) de densidad de DEA's (Enero 2012) (superficie en píxeles).

y repliegue de las nubes al/en el territorio de observación y periodos de comportamiento irregular: con características especiales como DEA's en las madrugadas y en las tardes, DEA's que comienzan por la madrugada eliminando las DEA's de la tarde, DEA's pulsantes, pulso agudos regulares e irregulares y pulsaciones menores continuas, etc., a ser reportadas posteriormente.

La distribución espacial de las DEA's en la mayoría de estas circunstancias ya ha sido reportadas anteriormente, al comentar el comportamiento temporal de las DEA's (Vease las Fig.[13]¹ y Fig.[14]).

6. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

1. Las DEA's están completamente vinculadas a la presencia de masas de nubes, es decir se producen en temporadas de lluvia, mayormente en el verano austral y muy poco durante el In-

¹ Las dimensiones de (500,500) es expresado en píxeles

- vierno, restringido al ingreso de las denominadas surazos.
2. Los DEA's se generan normalmente durante las horas de la tarde de un día, pero muchas veces por las madrugadas y las mañanas y también por las tardes, algunas veces se comienza con DEA's por la madrugada y toda la mañana anulándolas en horas de la tarde, otras veces son pulsantes en forma regular e irregular y otras ocasiones se presentan como pulsaciones menores pero continuas reportándose como ruido atmosférico.
 3. El movimiento de las nubes de cuando ingresan al territorio de observación de manera general son de Norte a Sur tanto en horas de las mañanas como de las tardes y de sur a norte en el periodo de estancamiento y repliegue de nubes tanto por las mañanas como por las tardes. El movimiento de los enjambres de DEA's son correlacionables con los movimientos de las nubes.
 4. La mayoría de las DEAs se localizan en las zonas de los valles (los departamentos de Cochabamba, Chuquisaca, Norte Potosí) y las faldas orientales de la cordillera real, o en el límite de las montañas y los llanos (Chapare, Yungas) y los llanos orientales.
 5. en los años cuando se desarrolla el fenómeno climático La Niña, las nubes ingresan por los Valles del Rio Apurimac y Sagrado de los Incas, Cuzco, La Cordillera Oriental con pocos y difíciles puntos de ingreso (Sorata, La Cumbre) al Sureste, Las Juntas (al Sur del Ilimani) y los valles de Ayopaya (departamento de Cochabamba) y el Isiboro Secure alcanzando las profundidades sureñas del Altiplano y en él las zonas activas se localizan en los bordes de: El lado occidental del lago Titica, La parte oriental del Lago Poopo, Salar de Coipasa, Salar de Uyuni. La humedad bordea la Cordillera al sur del Chapare e ingresa a casi todo el territorio del Sudeste boliviano y el Noroeste del departamento de Chuquisaca, disminuyendo en los territorios del Noreste.
 6. Sucede justamente lo contrario en los años correspondientes al fenómeno climático de El Niño, En el Altiplano la humedad se concentra en el Norte y se generan intensas lluvias en los territorios del Noreste y prolongadas sequías en todo el resto del país.
 7. De manera general la mayoría de las DEA's se localizan al este del Meridiano que pasa por Patacamaya, punto de observación donde está instalada la Antena sensora.
 8. Las regiones de mayor densidad de DEA's se sitúa en el Departamento de Cochabamba y Chuquisaca a lo largo del Rio Caine que es tomado como límite entre los departamentos de Chuquisaca y Cochabamba y el Norte de Potosí.
 9. Los DEA's que se producen en horas diferentes a los de la tarde, registros irregulares, serán objeto de un análisis detallado en posteriores trabajos
 10. Durante toda la mañana, el Sol transfiere calor a las nubes que se encuentran al este del meridiano del sensor. Estas nubes calientes, en horas de la tarde realizan movimientos convectivos tratando de moverse a regiones más calientes (Zonas calentadas por la radiación solar en horas de la tarde) dejando atrás las zonas que empiezan a enfriarse. Los movimientos convectivos de las nubes mas la fricción entre las mismas y con las faldas de las montañas genera las condiciones propicias para la producción de las DEA's, además, de otras condiciones físicas propias de fenómenos de electrificación e inducción.

REFERENCIAS

- Finke, U. & Haul, T. August 1996, p 361-374, 1986., The characteristics of lightning occurrence in southern Germany (Beitrag Phys. Atmosph.)
- Flitz. 2004, Flash localization by interferometry and tune of arrival system (Royal Netherlands Meteorological Institut)
- Krider, P. E. & Noggli, R. 1975., roadband antenna systems for lightning magnetic fields (B Journal of applied meteorology)
- Lucas, J. R. 2001, Lightning Phenomena (High Voltage Engineering)
- Metz-Nablat, B. & Mila, E. 1998, El rayo y las instalaciones eléctricas en AT Cuaderno técnico (Schneider 168)
- . 2009, ERITECH Lightning Protection (Handbook, 2009)
- Pando, R. 2008, Aspectos básicos de las descargas eléctricas atmosféricas (ISSN 1668-9178)
- Raizman, S., Mendez, Y., Vivas, J., & Arevalo, J. 2004, Caracterización del nivel cera único de Venezuela a partir de un sistema de detección de descargas eléctricas atmosféricas (SDDA) (CVG-EDELCA)
- Rakov, A. V. & Uman, M. A. 2009, Lightning physics and effects (Handbook, 2009)
- Rousseau, A., Jian, C. W., Qiang, W., & Tao, M. Upsala, Sweden, 2008, Testing facility and methodology for local lightning detectors basis for scientific and standardisation discussions (29 th international conference on lightning practices)
- Tarazona, J., Ferro, C., & Urdaneta, A. J. 2006, Cartographic representation of Venezuelan Keraunic activity CIGRE (publication B2-206)
- Uman, M. A. & Krider, P. E. 1989, Natural and artificially initiated lightning, Science, 246, 262