

Distribución espacio-temporal de la ocurrencia de tormentas eléctricas en Costa Rica

Walter Fernández¹

*Laboratorio de Investigaciones Atmosféricas y Planetarias,
DFAOP/Escuela de Física y Centro de Investigaciones Geofísicas,
Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica*

Hugo Hidalgo

*Instituto Meteorológico Nacional,
Ministerio del Ambiente y Energía, San José, Costa Rica*

(Recibido 5 febrero 1997, aceptado 9 mayo 1997)

ABSTRACT

An analysis of the number of thunderstorm days for the meteorological station at Juan Santamaría Airport and of days with storms in the 06-18 hour period for the other six synoptic stations of Costa Rica is made.

On the Pacific watershed, it was found that the seasonal distributions of the number of days with storms in the 06-18 hour period are similar to the corresponding distributions of rainfall. This is because rain is produced mainly by diurnal convection. On the Caribbean watershed, this does not occur in such a form, because it rains mainly during the night and the morning.

With exception of Limón station (on the Caribbean watershed), the annual number of days with storms in the 06-18 hour period is in the 86-108 range.

It was estimated, utilizing empirical relationships, that between 12.2% and 14.7% of the total number of lightning flashes go to ground.

The maximum value for the total number of lightning flashes (intracloud and to ground) per km² per month, considering the different meteorological stations and excluding the station of Limón, varies between 7 for Liberia to about 10 for Nicoya. The annual totals are between near 33 (Liberia) and near 52 (Nicoya). Excluding also Limón, the number of lightning discharges to ground per km² per month varies between 0.96 for Puntarenas to 1.15 for Nicoya. The annual totals are between near 4.6 (Palmar Sur) and near 6.4 (Nicoya).

1. Introducción

Las tormentas o tormentas eléctricas ("thunderstorms"), también conocidas como tronadas o tormentas de truenos, son masas nubosas (casi siempre cumulonimbus), desde las cuales, o dentro de las cuales, las descargas eléctricas producen truenos (*e.g.*, Court y Griffiths, 1982). Por

acuerdo internacional, un "día de tormenta" ("thunderstorm day") se define como un día calendario local en el cual se escucha trueno, independientemente del número actual de tormentas (WMO, 1953). Como la audibilidad es el criterio bajo el cual se define un "día de tormenta", el nivel de ruido alrededor de una estación meteorológica influencia el número de tormentas detectadas y registradas (Court y Griffiths, 1982).

Estudios realizados en algunas partes del mundo, sobre la climatología de los "días de tormenta" (períodos de 24 horas con uno o más

¹Corresponding author address: Dr. Walter Fernández, Laboratorio de Investigaciones Atmosféricas y Planetarias, DFAOP/Escuela de Física, Universidad de Costa Rica, 2060 San José, Costa Rica. E-mail: wfer@cariari.ucr.ac.cr

estruendos de trueno) han mostrado variaciones temporales y geográficas considerables.

La Figura 1 muestra la distribución global de tormentas (WMO, 1953). Hay que tener presente que los datos utilizados para hacer dicha figura son observaciones "puntuales". Como lo han señalado Court y Griffiths (1982) hay una relación, aunque no perfecta, con la topografía, la configuración tierra-mar, movimientos de masas de aire y el flujo del aire en todas las escalas. Las tormentas son a menudo el resultado del calentamiento local y de la convergencia inducida por la brisa de mar, cuyos efectos se reducen grandemente una vez que las tormentas se han formado, ya que se suprime el calentamiento y se altera el flujo en la mesoscala (Changnon, 1988b). Las brisas de tierra pueden jugar un rol importante en la ocurrencia de tormentas sobre el mar durante la noche (Neumann, 1951). Todo esto conlleva a una gran variabilidad en la ocurrencia de tormentas, no solamente a nivel global (WMO, 1953) sino también regional (*e.g.* Portig, 1963, 1976; Wallace, 1975; Court y Griffiths, 1982; Easterling, 1985; Changnon, 1988a, 1988b; Lopez and Holle, 1986; Orville, 1991;

Watson *et al.*, 1994; Torres y Herrera, 1994; Livingston *et al.*, 1996). Se considera que el Africa Central e Indonesia poseen la mayor incidencia de tormentas eléctricas en el mundo. No muchas estaciones reportan 200 o más "días de tormenta" al año. Una lista de éstas, junto con su variación estacional, se puede encontrar en Court y Griffiths (1982). Portig (1963) propuso, usando curvas estadísticas, un máximo absoluto de aproximadamente 250 a 260 "días de tormenta" por año. El récord es 242 "días de tormenta" por año, registrado sobre un período de 10 años en Kampala, Uganda (Court y Griffiths, 1982).

Se han señalado discrepancias en los datos de "días de tormenta" correspondientes a América Central y el Caribe (Portig, 1976). Se han sugerido máximos sobre la parte central de la Zona del Canal de Panamá (196 "días de tormenta" en Madden Dam) y sobre la costa Pacífica de Honduras en el Golfo de Fonseca (116 "días de tormenta" por año). Algunos valores para América Central fueron recopilados por Basso (1967).

Se debe tener presente que un "día de tormenta" provee una descripción bastante limitada de la

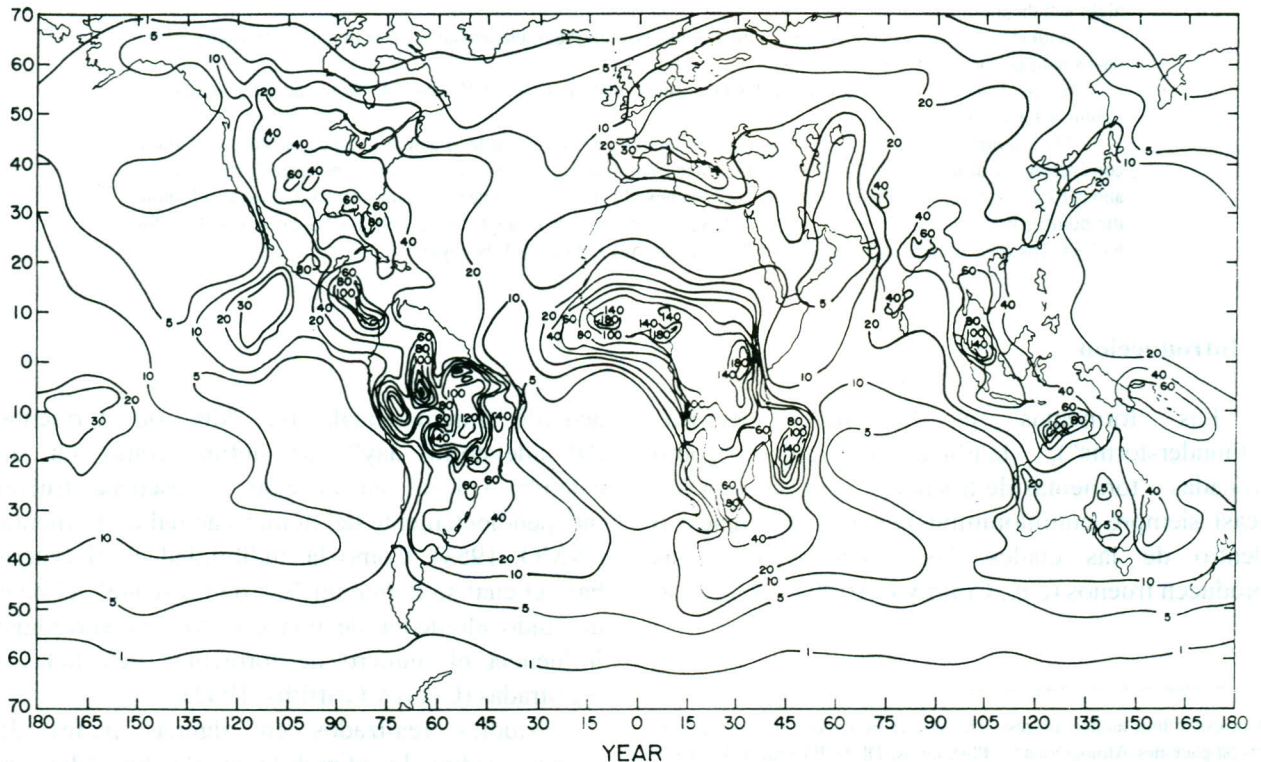


Fig. 1. Número de días de tormenta por año (WMO, 1953).

actividad eléctrica que ocurre en cualquier período de 24 horas (e.g. Changnon, 1988a, 1988b). Un "día de tormenta" puede incluir solo un estruendo de trueno con una duración menor a un minuto o bien puede abarcar varias horas de trueno con períodos discretos de actividad eléctrica.

En algunos lugares, solo existen datos de "días de tormenta" y no mediciones de parámetros físicos que permitan estudiar con mayor detalle la actividad eléctrica troposférica. Por ejemplo, en Costa Rica solo se han realizado muy pocas y esporádicas observaciones del gradiente eléctrico vertical de la atmósfera, como las realizadas por Elliott Coen y recopiladas por Basso (1967). Además, en muchas regiones, son muy pocas las estaciones meteorológicas que cuentan con registros de tormentas durante todo el día (de los cuales se pueden extraer los "días de tormenta"), pues la mayor parte de las estaciones sinópticas realizan observaciones solamente en el período 06-18 horas (hora local). En este último caso, lo que se puede determinar es la frecuencia de ocurrencia de tormentas en las horas diurnas. Este es el caso de Costa Rica, donde solo la estación del Aeropuerto Juan Santamaría realiza observaciones de tormentas las 24 horas del día, ya que las otras estaciones sinópticas realizan dichas observaciones en el período 06-18 horas.

Debido a lo anterior, en el presente trabajo se hace un análisis de los datos de "días de tormenta" para la estación del Aeropuerto Juan Santamaría y de "días con tormentas en el período 06-18 horas" para las otras estaciones sinópticas. A pesar de estas limitaciones, un análisis de este tipo es útil cuando esos datos constituyen los únicos registros históricos de actividad eléctrica. Tal análisis permite tener una idea, aunque sea muy limitada, de la actividad eléctrica troposférica que ocurre en el país. Además, con esta información se hace una estimación del número de relámpagos. Esto es importante para estimar los daños causados por los rayos, ya que la actividad eléctrica atmosférica debe ser considerada frecuentemente en el diseño de estructuras, sistemas de radiocomunicaciones y sistemas de electrificación, así como para la protección de instrumental electrónico.

2. Estaciones meteorológicas y datos utilizados

En Costa Rica, sólo las estaciones meteorológicas de primer orden (Estaciones Meteorológicas Tipo A), operadas por el Instituto Meteorológico Nacional, registran la ocurrencia de tormentas. Las ubicaciones de las siete estaciones de primer orden se muestran en la Figura 2. Estas estaciones son las que se utilizan en este estudio. En el Cuadro 1 se dan las coordenadas geográficas y las altitudes de las estaciones, así como los períodos de registro utilizados en este estudio.

CUADRO 1. Estaciones de Costa Rica utilizadas.

Estación	Lat.	Long.	Altitud (m)	Período utilizado mes/año
	Norte	Oeste		
Aerop. Juan Santamaría	10°00'	84°13'	800	09/71-12/89
Aerop. Pavas	09°58'	84°08'	997	04/75-12/89
Liberia	10°36'	85°32'	80	06/76-12/89
Nicoya	10°09'	85°27'	120	02/72-04/84
Puntarenas	09°59'	84°46'	3	01/72-12/89
Palmar Sur	08°57'	83°28'	16	10/84-12/89
Limón	10°00'	83°03'	5	03/73-12/89

Los registros sinópticos de cada una de las estaciones meteorológicas tipo A fueron revisados para extraer los datos mostrados en los Cuadros 2 y 3. Luego se procedió a obtener las distribuciones estacionales de las frecuencias de "días de tormenta" o de "días con tormentas en el período 06-18 horas" para cada una de las estaciones, de tal forma que se pudieran analizar las variaciones geográficas y estacionales. Además, en el caso de la estación ubicada en el Aeropuerto Juan Santamaría, se estudia también la frecuencia de ocurrencia de actividad de truenos en las horas diurnas y las horas nocturnas. Como se mencionó, esta es la única estación que realiza observaciones las 24 horas del día, lo cual permite hacer esa separación en dos períodos: 06-18 (horas diurnas) y 18-06 (horas nocturnas).

3. Distribuciones estacionales

Las distribuciones estacionales del número de "días con tormentas en el período 06-18 horas" para

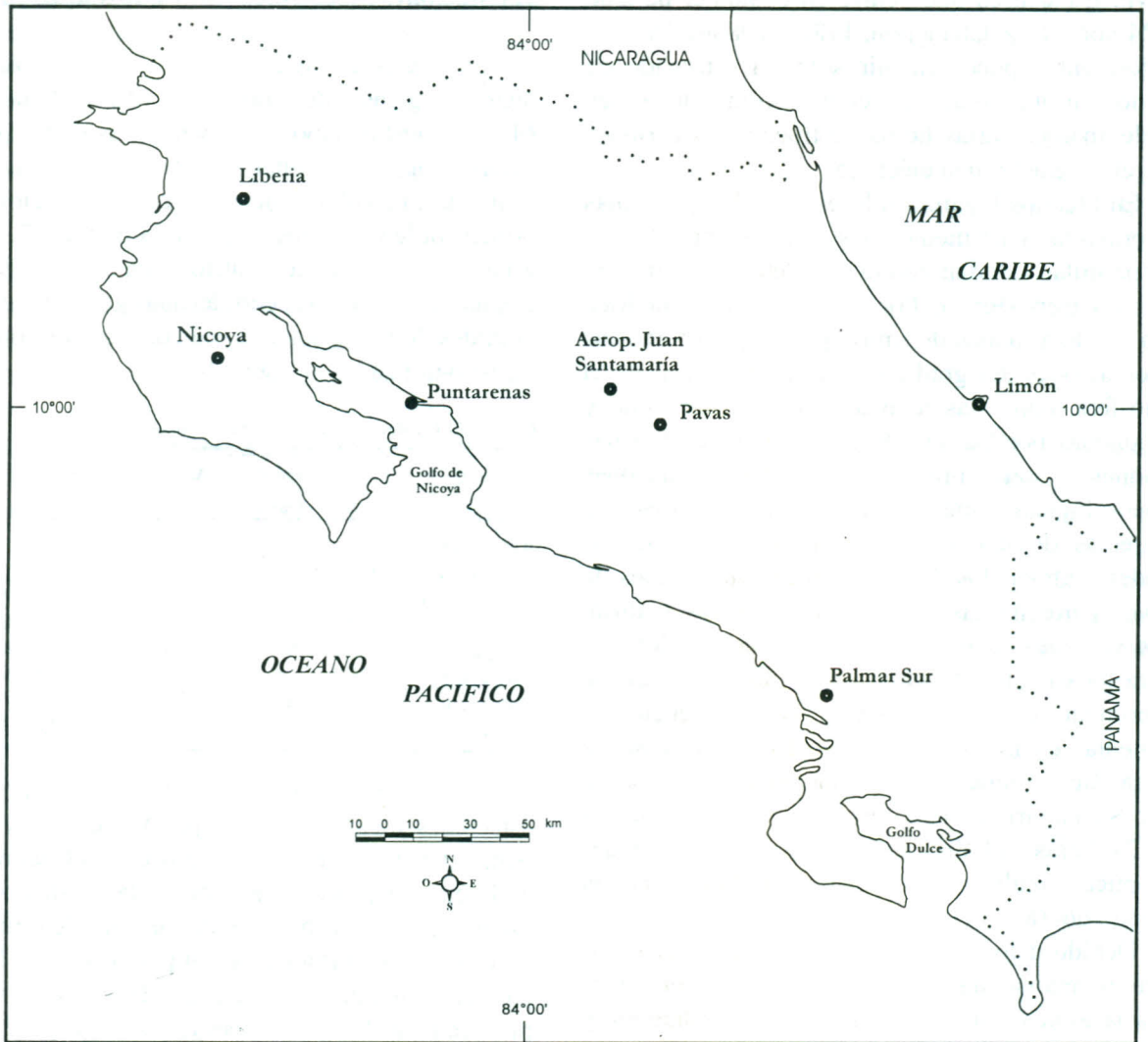


Fig. 2. Localización de las estaciones utilizadas.

las estaciones Aeropuerto Juan Santamaría y Aeropuerto Tobías Bolaños (Figuras 3a y 4a), localizadas en el Valle Central, así como de las estaciones de Liberia (Figura 4b), Nicoya (Figura 4c) y Puntarenas (Figura 5a), localizadas en la parte Norte de la Vertiente del Pacífico, son similares a las distribuciones estacionales correspondientes de la lluvia. La ocurrencia de "días con tormentas en el período 06-18 horas" se concentra entre abril y noviembre. Las distribuciones tienen dos máximos, uno en junio y otro en setiembre (excepto en Puntarenas donde el segundo máximo ocurre en agosto), y un mínimo relativo en julio. Este mínimo relativo corresponde al llamado "veranillo", que

constituye una disminución de la lluvia en dicho mes. Nótese que ese mínimo relativo en julio es más marcado en el Valle Central (Aeropuerto Juan Santamaría y Aeropuerto Tobías Bolaños) y en la parte central de Guanacaste (Liberia y Nicoya) que en Puntarenas. En esta última estación el efecto de la brisa de mar hace que dicho mínimo sea menos pronunciado. En la estación de Palmar Sur (Figura 5b), localizada en la parte Sur de la Vertiente del Pacífico, la distribución estacional del número de "días con tormentas en el período 06-18 horas" difiere un poco en relación a la distribución correspondiente de la lluvia. En julio, no se observa un mínimo relativo de días con tormentas en el

CUADRO 2. Número promedio de tormentas, en los períodos indicados, en el Aeropuerto Juan Santamaría, Costa Rica.

Período	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Año
00-24 horas	0.61	0.22	1.33	4.83	13.50	15.94	10.38	14.05	15.63	12.89	4.98	1.05	92.57
06-18 horas	0.61	0.22	1.33	4.83	13.44	15.72	10.39	13.83	15.58	12.84	4.84	1.05	91.53
18-06 horas	0.00	0.06	0.00	0.50	1.44	2.33	1.61	1.28	1.72	0.95	0.95	0.05	10.11

CUADRO 3. Número promedio de "días con tormentas en el período 06-18 horas" en varias estaciones de Costa Rica.

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Año
Aerop. Juan Santamaría	0.61	0.22	1.33	4.83	13.44	15.72	10.39	13.83	15.58	12.84	4.84	1.05	91.43
Aerop. Pavas	0.14	0.71	1.86	4.87	13.40	15.93	11.07	12.47	16.07	13.87	5.40	0.80	96.40
Liberia	0.08	0.23	1.23	3.23	11.85	14.50	10.21	13.93	15.29	12.79	4.14	0.57	85.93
Nicoya	0.16	0.46	1.61	4.92	15.33	17.08	14.33	16.58	17.66	14.16	5.75	0.75	108.40
Puntarenas	0.37	0.13	0.53	2.53	11.71	15.25	13.65	15.71	15.06	13.00	5.35	0.78	93.69
Palmar Sur	0.20	0.40	1.20	8.6	12.20	14.20	15.40	16.00	12.60	8.50	5.17	1.67	96.40
Limón	0.13	0.06	0.41	0.82	6.41	13.35	13.76	12.65	11.88	9.47	4.29	1.52	74.76

período 06-18 horas y, además, este número empieza a decrecer en agosto (a pesar de que la lluvia tiene su valor máximo en octubre).

En análisis realizados de la distribución diurna de la lluvia (e.g. Alfaro, 1981) se observa que los máximos de lluvia para las estaciones del Valle Central y del Pacífico ocurren en las tardes (antes de las 18 horas). Por lo tanto, se espera que la mayor frecuencia de tormentas eléctricas ocurra también en las tardes. Por ejemplo, en San José los valores máximos de lluvia a lo largo del año se observan entre las 14 y 15 horas, mientras que en Puntarenas a las 17 horas aproximadamente; en Nicoya y Palmar Sur cerca de las 16 horas. En todas estas estaciones llueve relativamente poco durante la noche y la mañana, excepto cuando ocurren situaciones sinópticas que producen lluvias persistentes (los llamados "temporales").

Como se mencionó, de las siete estaciones meteorológicas consideradas aquí sólo Aeropuerto Juan Santamaría realiza observaciones de la ocurrencia de tormentas las 24 horas del día. De la Figura 3 se puede observar que en la Estación Aeropuerto Juan Santamaría la frecuencia de "días con tormentas en el período 18-06 horas" (Figura 3b) es relativamente muy baja, mientras que la frecuencia de "días con tormentas en el período 06-18 horas" (Figura 3a) es relativamente muy alta. Como en las mañanas pocas veces llueve se deduce que las tormentas ocurren con mayor frecuencia en las tardes. Consecuentemente, las distribuciones de "días de tormenta" (Figura 3c) y de "días con

tormentas en el período 06-18 horas" (Figura 3a) son similares.

La estación de Limón, en la costa del Caribe, presenta una situación diferente, ya que aquí llueve durante todo el día, aunque relativamente menos entre las 12 y las 18 horas y en mayor grado durante la noche y la mañana (Alfaro, 1981). Por consiguiente, la distribución estacional del número de "días con tormentas en el período 06-18 horas" para la estación de Limón (Figura 5c) es diferente que la distribución correspondiente de la lluvia.

4. Incidencia de rayos

Pierce (1982) da una fórmula empírica que permite estimar el número de relámpagos por km² por mes, a partir del número de "días de tormenta" por mes. Esta fórmula es la siguiente:

$$L_m = (aT_m + a^2T_m^4)^{1/2} \quad (1)$$

donde L_m es el número de relámpagos por km² por mes, T_m es el número de "días de tormenta" por mes y $a=0.03$. La incidencia de relámpagos en esa fórmula es para todos los relámpagos, intranubosos y descargas a tierra, ocurriendo sobre un área de 1 km². Con base en la Fórmula 1 se obtuvieron los valores mostrados en el Cuadro 4. Nótese que la Fórmula 1 es, en principio, aplicable solo cuando se cuenta con datos de "días de tormenta" (estación Aeropuerto Juan Santamaría). No obstante, se ha

CUADRO 4. Número total estimado de relámpagos intranubosos y relámpagos a tierra por km² en el período 06-18 horas, con base en los datos de días con tormenta, en varias estaciones de Costa Rica. Para la estación Aeropuerto Juan Santamaría, también se indica el número de esos relámpagos en el período 00-24 horas.

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total
Aerop. Juan Santamaría (00-24 horas)	0.13	0.08	0.20	0.79	5.42	7.65	3.56	5.95	7.36	5.02	0.81	0.18	37.150
Aerop. Juan Santamaría (00-24 horas)	0.13	0.08	0.20	0.79	5.45	7.44	3.28	5.77	7.31	4.98	0.79	0.18	36.400
Aerop. Pavas	0.06	0.14	0.25	0.80	5.42	7.64	3.72	4.70	7.77	5.80	0.96	0.15	37.414
Liberia	0.04	0.08	0.08	0.44	4.25	6.34	3.17	5.85	7.04	4.94	0.62	0.13	32.980
Nicoya	0.06	2.01	2.46	0.82	7.08	8.78	6.19	8.27	9.38	6.05	1.07	0.15	52.320
Puntarenas	0.10	0.06	0.12	0.33	4.15	7.00	5.62	7.43	6.83	5.10	0.94	0.15	37.830
Palmar Sur	0.07	0.10	0.19	2.27	4.50	6.08	7.14	7.71	4.80	2.22	0.89	0.23	36.200
Limón	0.06	0.04	0.11	0.15	1.30	5.38	5.71	4.84	4.27	2.74	0.65	0.22	25.470

CUADRO 5. Número total estimado de relámpagos a tierra por km² en el período 06-18 horas, en varias estaciones de Costa Rica. Para la estación Aeropuerto Juan Santamaría, también se indica el número de esos relámpagos en el período 00-24 horas.

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total
Aerop. Juan Santamaría (00-24 horas)	0.016	0.010	0.025	0.102	0.701	0.989	0.460	0.769	0.952	0.649	0.104	0.023	4.800
Aerop. Juan Santamaría (00-24 horas)	0.016	0.010	0.025	0.010	0.707	0.966	0.426	0.749	0.949	0.646	0.102	0.023	4.629
Aerop. Pavas	0.007	0.017	0.031	0.102	0.691	0.974	0.436	0.599	0.990	0.739	0.122	0.019	4.727
Liberia	0.005	0.011	0.011	0.064	0.623	0.928	0.464	0.857	1.032	0.724	0.090	0.019	4.828
Nicoya	0.007	0.245	0.300	0.100	0.865	1.073	0.757	1.011	1.147	0.739	0.130	0.018	6.392
Puntarenas	0.012	0.007	0.015	0.042	0.534	0.901	0.723	0.956	0.879	0.656	0.121	0.020	4.866
Palmar Sur	0.008	0.012	0.024	0.286	0.568	0.768	0.902	0.974	0.606	0.280	0.112	0.029	4.569
Limón	0.008	0.005	0.015	0.020	0.180	0.747	0.793	0.672	0.593	0.380	0.090	0.030	3.533

CUADRO 6. Valores estadísticos de algunos parámetros de los relámpagos a tierra. (Tomado de Pierce, 1982).

Parámetro	Valor de la mediana (excedido por 50% de los valores)	Valor extremo de Ingeniería (excedido por 2% de los valores)
Número de descargas de retorno	2 a 3	10 a 11
Duración total del relámpago (ms)	180	850
Corriente pico de la descarga de retorno (kA)	20	140
Transferencia de carga total por relámpago (C)	15	200
Razón de cambio de la corriente de la descarga de retorno (kA μs ⁻¹)	22	100
Corriente continua (A) (cuando esta presente)	140	520
Duración de la corriente continua (ms) (cuando esta presente)	160	400
Transferencia de carga en corrientes continuas (C) (cuando están presentes)	26	110
Integral de acción (A ² s)	2 x 10 ⁴	8 x 10 ⁵

aplicado también a las otras estaciones con los datos de "días con tormentas en el período 06-18 horas". Esto se hizo considerando la experiencia "cualitativa" de que el porcentaje de las tormentas que ocurren en el período 18-06 horas es pequeño comparado con el de las tormentas que ocurren en el

período 06-18 horas, para las estaciones del Valle Central y del Pacífico. En el caso de Limón esto no ocurre así, como se mencionó, y los resultados deben considerarse con mucho mayor reserva.

La proporción de descargas a tierra por año, p , puede ser estimada con la siguiente fórmula

empírica (Pierce, 1982):

$$p = \{0.1[1+(\phi/30)^2]/(2+0.05T_Y)\}^{1/2} \quad (2)$$

donde ϕ es la latitud (en grados) y T_Y es el número de "días de tormenta" por año.

Cuanto mayor sea la latitud mayor es la proporción de relámpagos a tierra. La explicación general para esto es que el centro de carga inferior en la atmósfera está localizado a alturas mayores sobre el suelo en tormentas tropicales que en aquellas de latitudes medias, lo cual posiblemente se deba a que los centros de carga se desarrollan a temperaturas definidas (Chalmers, 1967). Para una estación típica de latitudes medias, con $T_Y = 40$ y $\phi = 40$ (Washington D.C. aproxima estos valores; Pierce, 1982), la Fórmula 2 muestra que cerca de una cuarta parte de los relámpagos van a tierra ($p = 0.26$).

La Fórmula 2 se utilizó no solo con el número de "días de tormenta" por año (estación Juan Santamaría), sino también con el número de "días con tormentas en el período 06-18 horas" por año, por la misma razón mencionada arriba. Las proporciones de los relámpagos a tierra por año para las diferentes estaciones son: Aeropuerto Juan Santamaría (00-24 horas): 0.129 (12.9%), Aeropuerto Juan Santamaría (06-18 horas): 0.129 (12.9%), Aeropuerto de Pavas (06-18 horas): 0.127 (12.7%), Liberia (06-18 horas): 0.147 (14.7%), Nicoya (06-18 horas): 0.122 (12.2%), Puntarenas (06-18 horas): 0.129 (12.9%), Palmar Sur (06-18 horas): 0.126 (12.6%) y Limón (06-18 horas): 0.139 (13.9%). Nótese que estos resultados, de acuerdo a la Fórmula 2 son aplicables a los totales anuales. No obstante, si se hace la "ruda" aproximación de que esas proporciones se mantienen constantes a lo largo del año, se puede obtener una estimación grosera del número de relámpagos a tierra para los diferentes meses del año. El Cuadro 5 muestra estas estimaciones.

La información de los Cuadros 4 y 5 ha sido graficada en las Figuras 6 a 8. Por supuesto, las distribuciones a lo largo del año son similares. Nótese que los valores máximos para el número total de relámpagos por km^2 por mes, considerando las diferentes estaciones meteorológicas y excluyendo a Limón, varían entre 7 para Liberia a

cerca de 10 para Nicoya, y los totales anuales están entre cerca de 33 (Liberia) y cerca de 52 (Nicoya). Excluyendo también a Limón, el número de relámpagos a tierra por km^2 por mes varía entre 0.96 para Puntarenas a 1.15 para Nicoya, y los totales anuales están entre cerca de 4.6 (Palmar Sur) y cerca de 6.4 (Nicoya).

El Cuadro 6, tomado de Pierce (1982), muestra valores estadísticos para varios parámetros de los relámpagos a tierra, los cuales son de importancia en Ingeniería. En este Cuadro se muestran la mediana y los valores extremos (desde el punto de vista ingenieril) excedidos en solo un 2% de las veces. Como lo menciona Pierce, se encuentra que los valores de esos parámetros obedecen aproximadamente a una distribución log-normal, la cual es completamente definida si el valor de la mediana es dado junto con cualquier otro valor y su correspondiente porcentaje de probabilidad de ser excedido.

Los parámetros dados en el Cuadro 6 fueron seleccionados por Pierce (1982) por su importancia en Ingeniería. Como él lo señala, "la corriente pico gobierna los efectos de vaporización térmica, y la razón del cambio de corriente controla el acoplamiento electromagnético. La quemadura, la erosión y el derretimiento son sensitivos a los valores de transferencia de carga, a los parámetros de corriente continua y a la integral de acción (definida como $\int i^2 dt$, donde i es la corriente y t es tiempo; la integración es sobre la duración total del relámpago)".

En el Cuadro 6 hay una aparente discrepancia y es el hecho de que la mediana de la transferencia de carga especificada en corrientes continuas (solo ocasionalmente presentes) excede la transferencia de carga total. Esto lo explica Pierce (1982) haciendo notar que "ocasionalmente una conexión de conducción entre la tierra y la nube es mantenida por algún tiempo después de la descarga de retorno ("return stroke"); una corriente continua sigue entonces y es responsable por una transferencia de carga sustancial. Como la mayor parte de las descargas de retorno no inician una fase de corriente continua, los relámpagos con pocas descargas de retorno incluyen una corriente continua solo ocasionalmente".

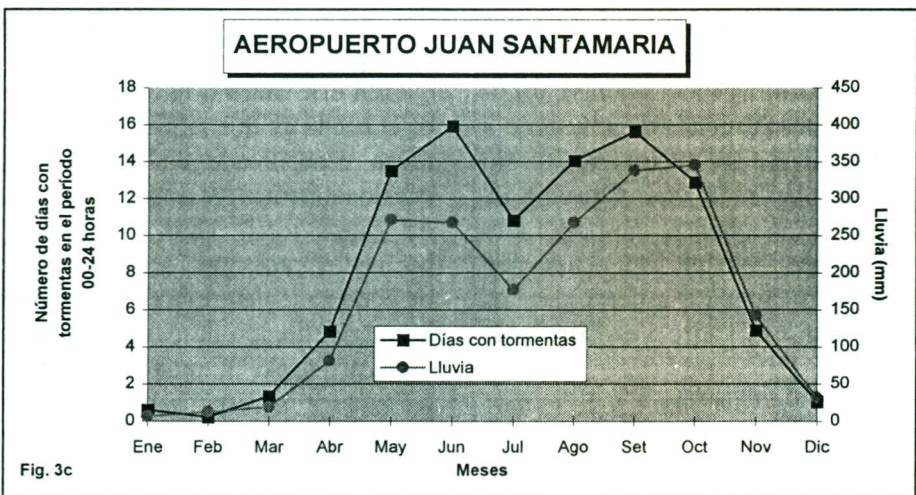
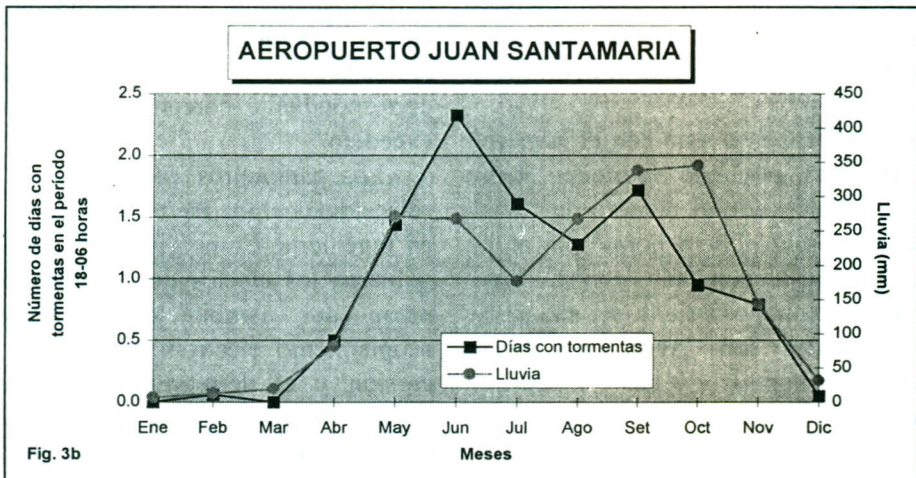
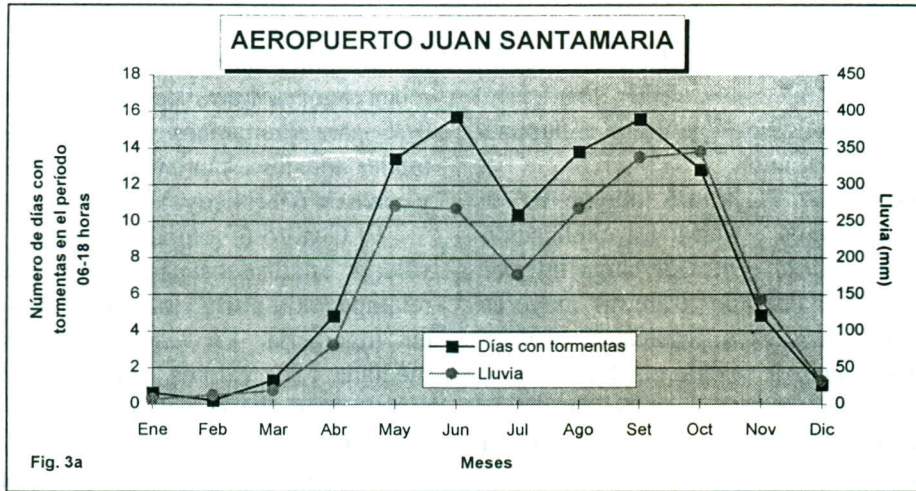


Fig. 3. Distribución mensual del número de días con tormentas en el Aeropuerto Juan Santamaria en los períodos: (a) 06-18 horas, (b) 18-06 horas y (c) 00-24 horas. También, se muestran las correspondientes distribuciones de la lluvia mensual promedio.

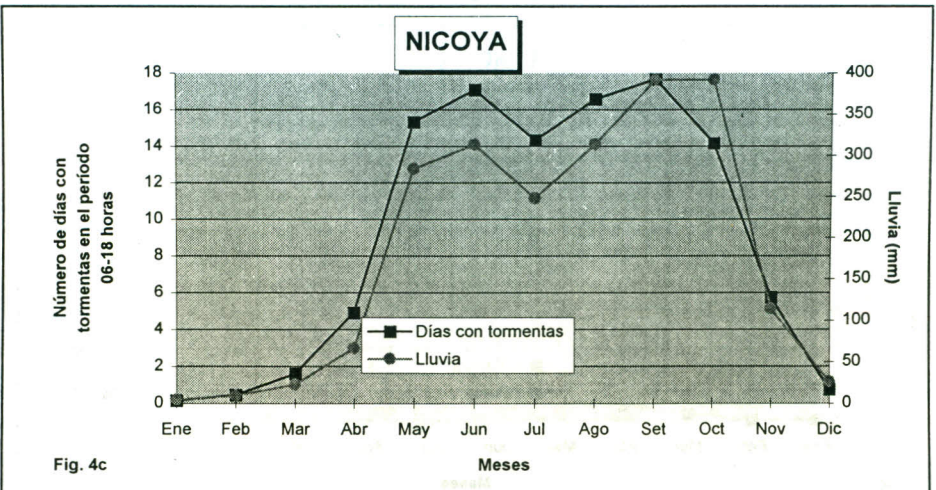
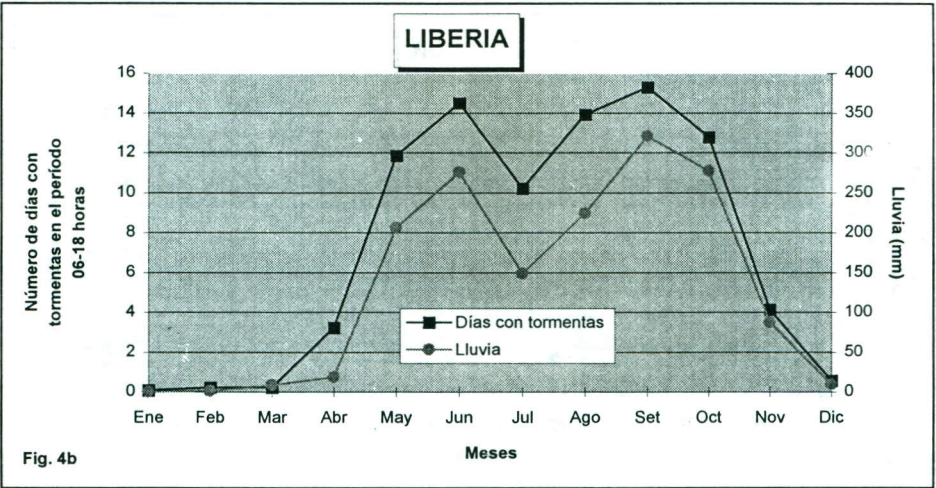
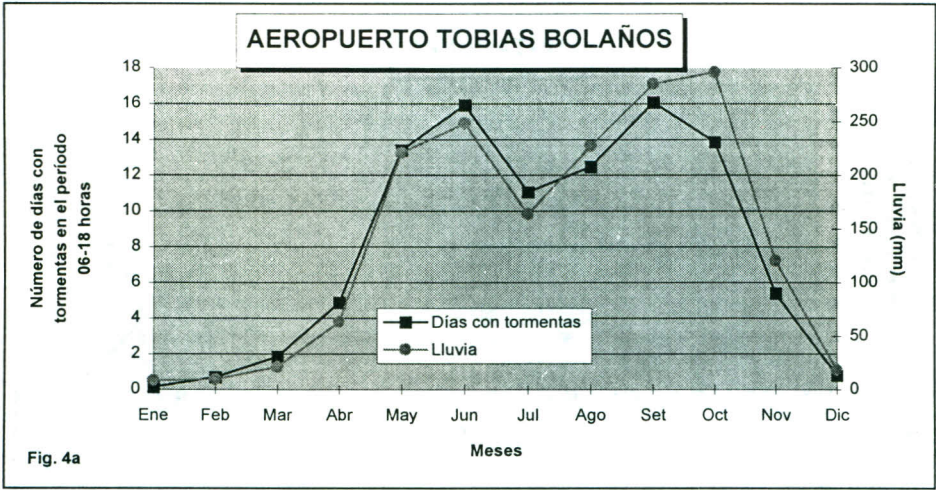


Fig. 4. Distribución mensual del número de días con tormentas en el período 06-18 horas para las estaciones: (a) Aeropuerto Tobias Bolaños, (b) Liberia y (c) Nicoya. También, se muestran las correspondientes distribuciones de la lluvia mensual promedio.

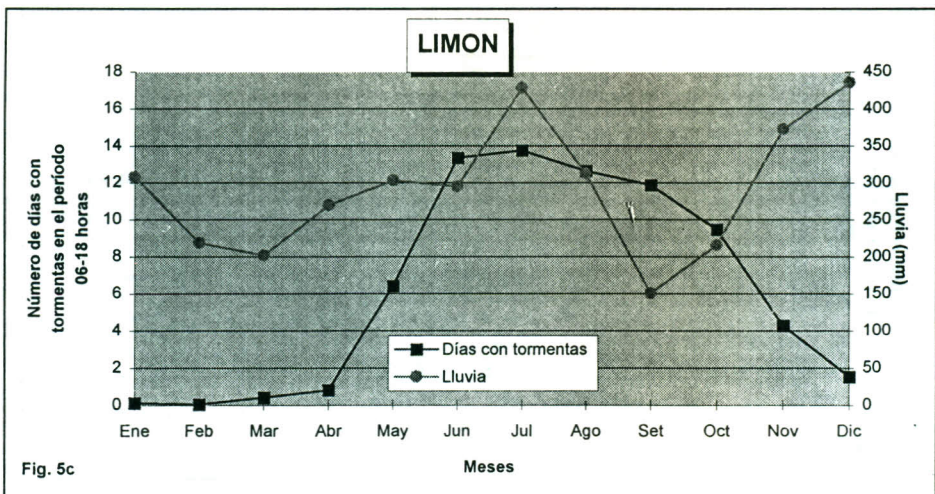
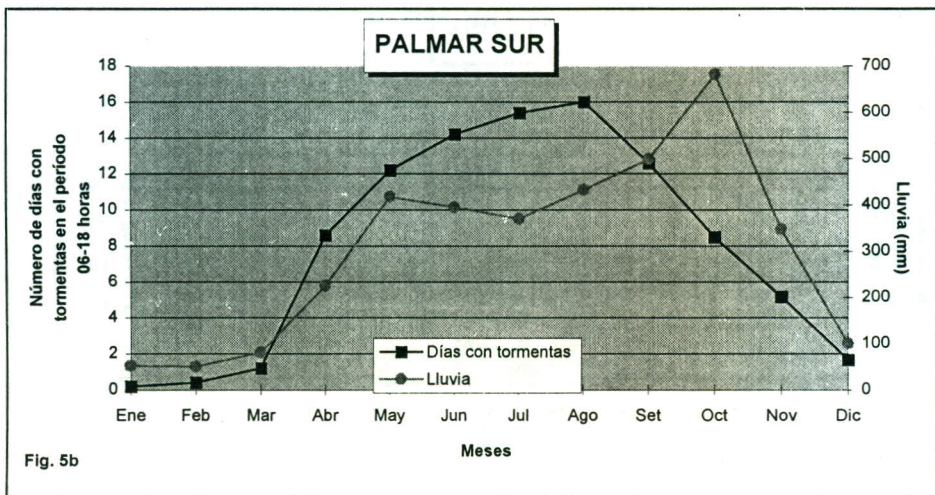
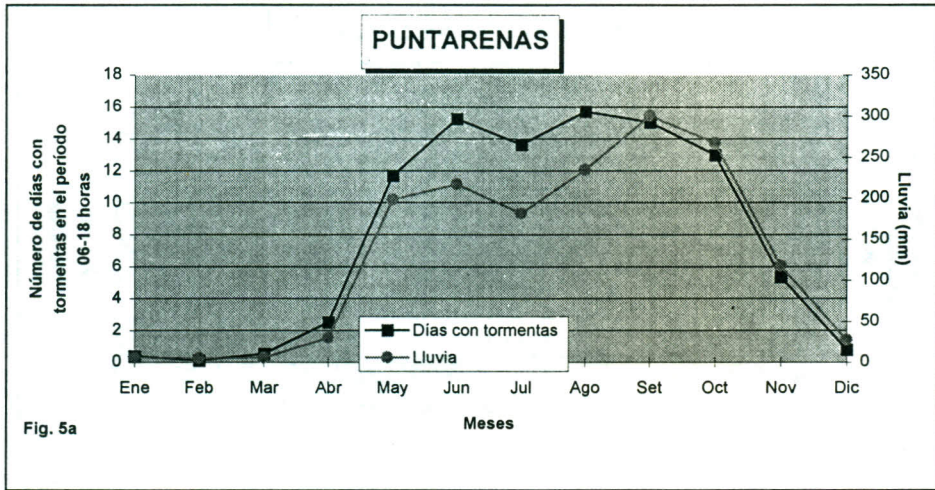


Fig. 5. Distribución mensual del número de días con tormentas en el período 06-18 horas para las estaciones: (a) Puntarenas, (b) Palmar Sur y (c) Limón. También, se muestran las correspondientes distribuciones de la lluvia mensual promedio.

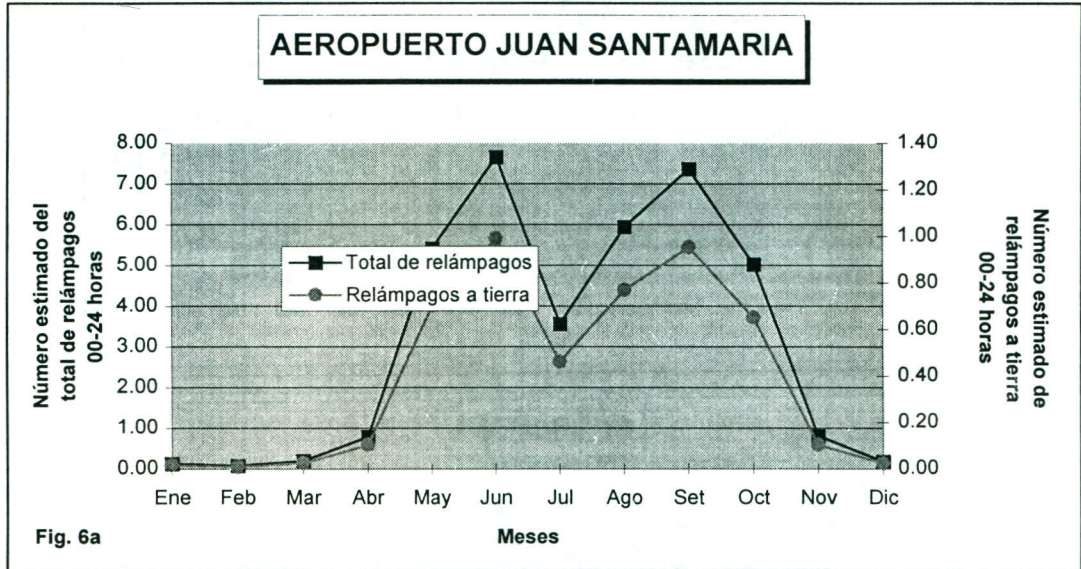


Fig. 6a

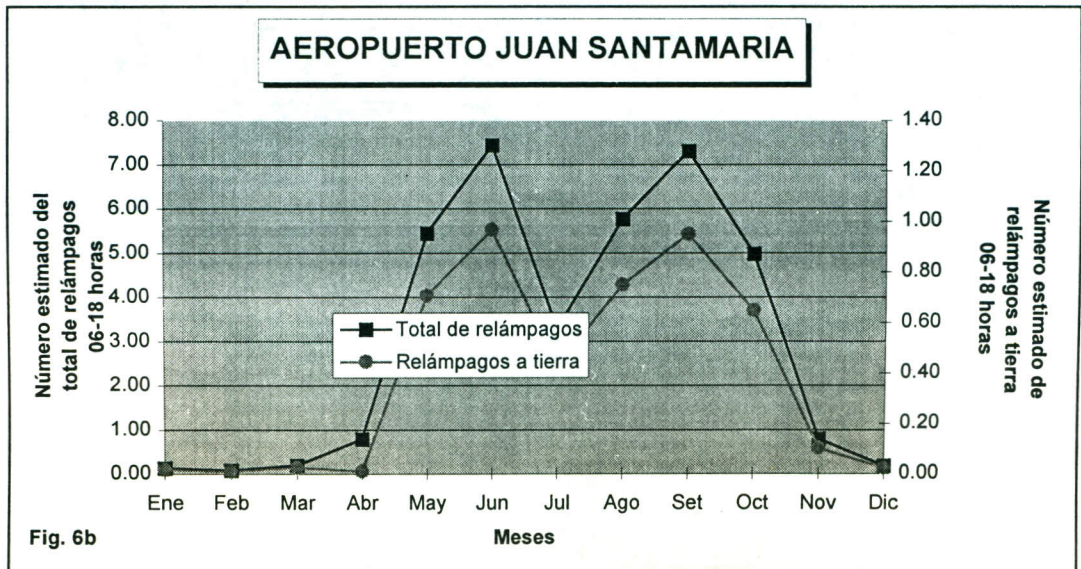


Fig. 6b

Fig. 6. Distribución mensual del número estimado del total de relámpagos (intranubosos y a tierra) y del número estimado de relámpagos a tierra para el Aeropuerto Juan Santamaría, en los periodos: (a) 00-24 horas y (b) 06-18 horas.

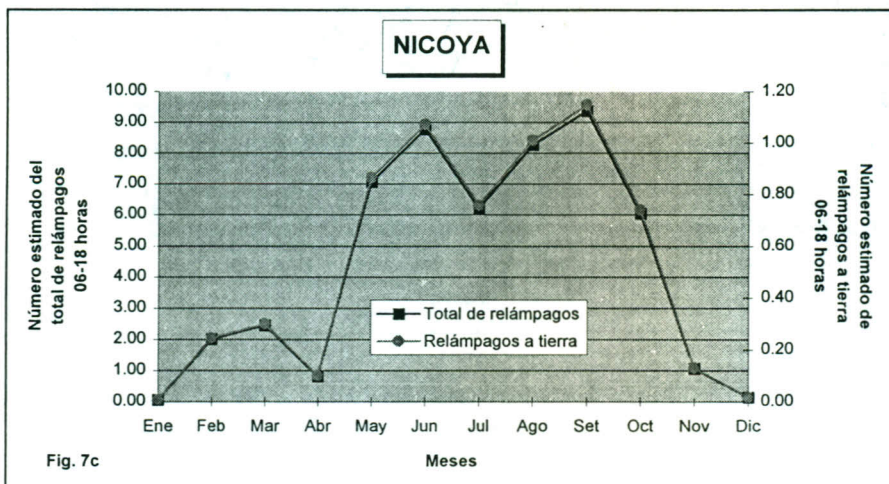
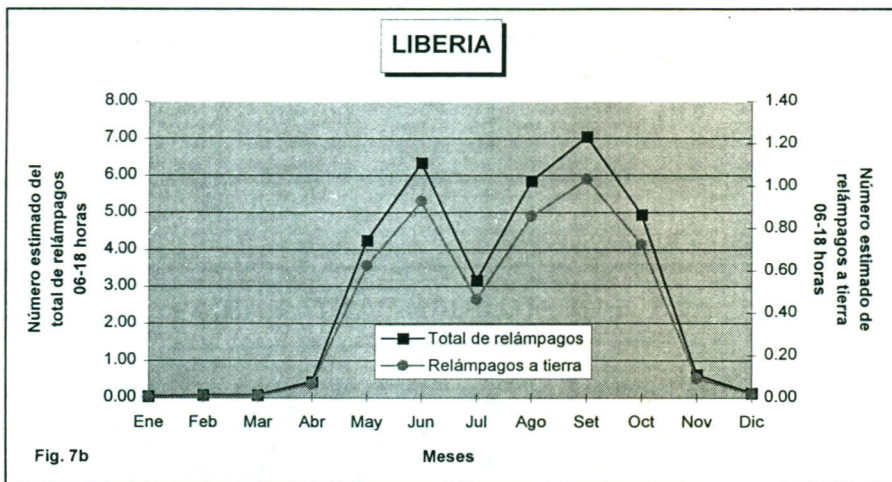
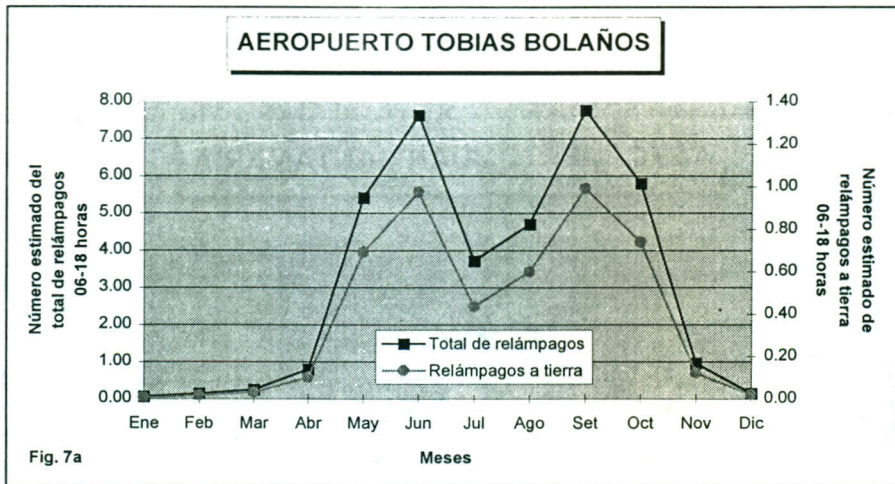


Fig. 7. Distribución mensual del número estimado del total de relámpagos (intranubosos y a tierra) y del número estimado de relámpagos a tierra en el período 06-18 horas para las estaciones: (a) Aeropuerto Tobias Bolaños, (b) Liberia y (c) Nicoya.

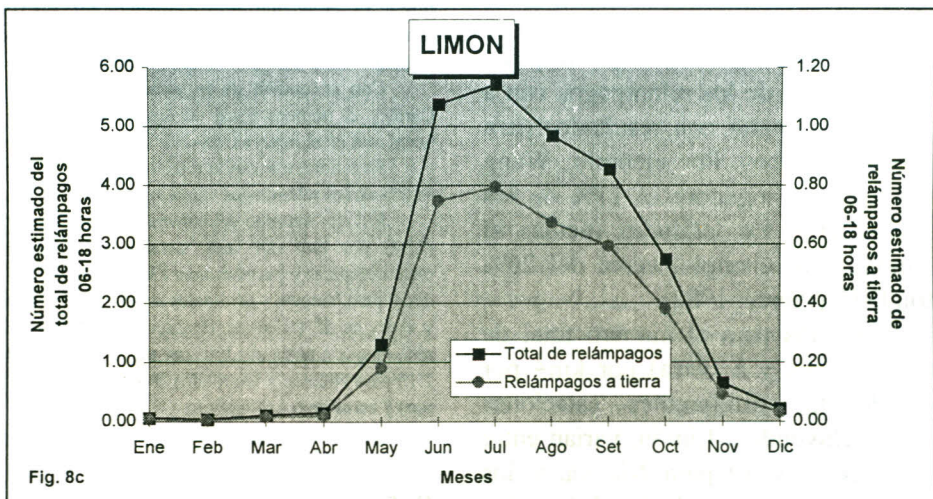
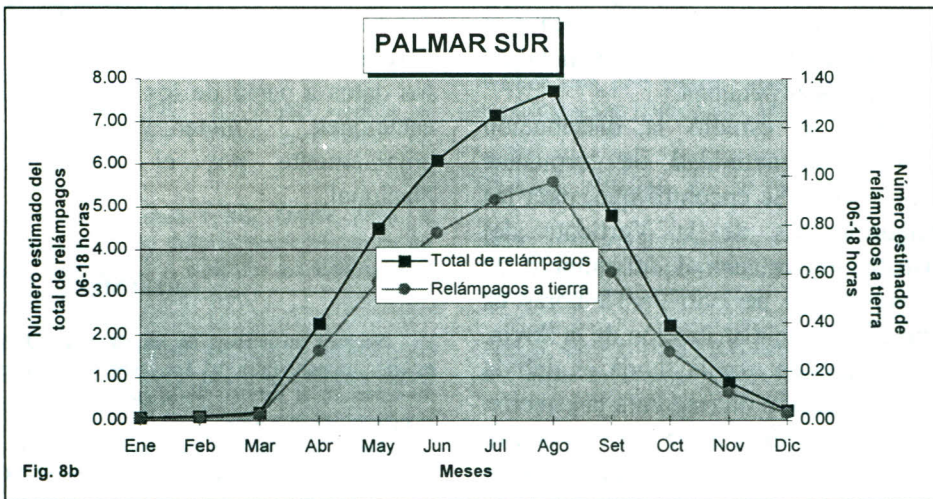
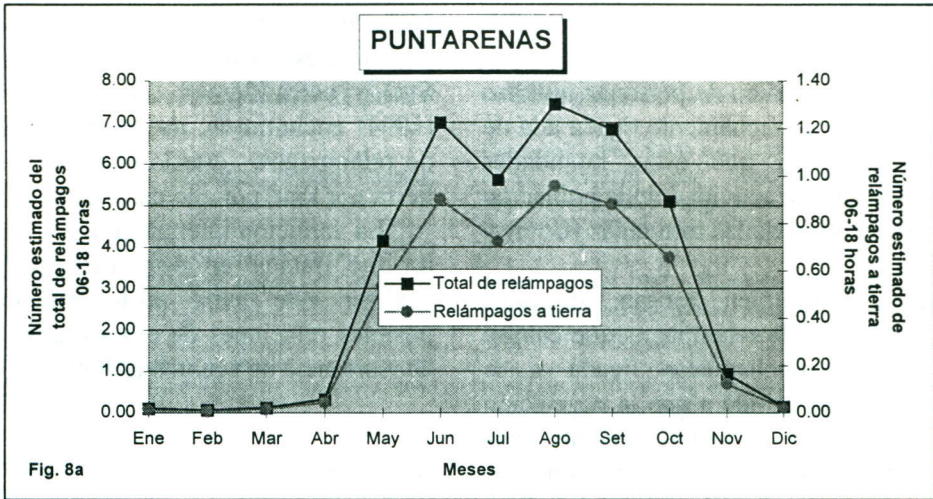


Fig. 8. Distribución mensual del número estimado del total de relámpagos (intranubosos y a tierra) y del número estimado de relámpagos a tierra en el período 06-18 horas para las estaciones: (a) Puntarenas, (b) Palmar Sur y (c) Limón.

5. Comentarios finales

La distribución geográfica de personas muertas por relámpagos no está estrechamente ligada a la de las tormentas, debido a que estas fatalidades dependen de la densidad y actividad de la población y de la hora de ocurrencia de las tormentas (Court y Griffiths, 1982).

Los relámpagos también causan incendios forestales. La incidencia de relámpagos que causan incendios no está estrechamente ligada a la incidencia de tormentas, debido a que la vegetación (combustible) debe estar lo suficientemente seca para ser encendida. Por esta razón los incendios de este tipo en la parte del Pacífico de Costa Rica ocurren más frecuentemente en la estación seca, aún cuando en esta época del año la frecuencia de ocurrencia de tormentas es pequeña.

En este trabajo se estudió la distribución espacio-temporal de la actividad de tormentas eléctricas en Costa Rica. Se encontró que, para las estaciones meteorológicas de la Vertiente del Pacífico, la distribución estacional del número de días con tormentas en el período 06-18 horas es similar a la correspondiente distribución de la lluvia. Esto responde al hecho de que la lluvia es debida principalmente a convección diurna. Para la estación de Limón, en la Vertiente del Caribe, esto no ocurre así, como consecuencia de que llueve principalmente en las horas nocturnas y en la mañana.

Se estimó, utilizando relaciones empíricas, que entre el 12.2% y el 14.7% de los relámpagos van a tierra. Esto se puede comparar con resultados para otros lugares en los trópicos. Por ejemplo, Wang (1963) encontró que en Singapur el 17% de los relámpagos van a tierra. En latitudes medias el porcentaje es mayor, por ejemplo, cerca del 26% para Washington D.C. (Pierce, 1982).

Los valores máximos para el número total de relámpagos (intranubosos y a tierra) por km^2 por mes, considerando las diferentes estaciones meteorológicas y excluyendo a Limón, varían entre 7 para Liberia a cerca de 10 para Nicoya, y los totales anuales están entre cerca de 33 (Liberia) y cerca de 52 (Nicoya). Excluyendo también a Limón, el número de relámpagos a tierra por km^2 por mes

varía entre 0.96 para Puntarenas a 1.15 para Nicoya, y los totales anuales están entre cerca de 4.6 (Palmar Sur) y cerca de 6.4 (Nicoya). Torres y Herrera (1994) encontraron, de los registros de contadores de relámpagos, que la densidad de relámpagos a tierra por km^2 por año en Bogotá, Colombia, es 4.8.

La variación interanual de los días con tormenta no fue tratada en este artículo, pero se espera analizar este tema posteriormente, examinando posibles relaciones de esa variación interanual con la ocurrencia de eventos ENOS.

Agradecimientos

Los autores están agradecidos con Mario Fernández por su colaboración con la obtención de los datos a partir de los informes sinópticos de las estaciones meteorológicas, suministrados amablemente por el Instituto Meteorológico Nacional.

RESUMEN

Se hace un análisis de los datos de "días de tormenta" de la estación meteorológica del Aeropuerto Juan Santamaría y de "días con tormentas en el período 06-18 horas" para las otras seis estaciones sinópticas de Costa Rica.

En la Vertiente del Pacífico, las distribuciones estacionales del número de días con tormentas en el período 06-18 horas son similares a las distribuciones correspondientes de la lluvia. Esto es debido a que la lluvia es producida principalmente por convección diurna. En la Vertiente del Caribe, esto no ocurre así, debido a que llueve principalmente durante la noche y la mañana.

Con excepción de la estación de Limón (en la Vertiente del Caribe), el número anual de días con tormentas en el período 06-18 horas está en el intervalo 86-108.

Se estimó, utilizando relaciones empíricas, que entre el 12.2% y el 14.7% de los relámpagos van a tierra.

El valor máximo del número total de relámpagos (intranubosos y a tierra) por km^2 por mes, considerando las diferentes estaciones meteorológicas y excluyendo a Limón, varía entre 7 para Liberia a cerca de 10 para Nicoya, y los totales anuales están entre cerca de 33 (Liberia) y cerca de 52 (Nicoya). Excluyendo también a Limón, el número de relámpagos a tierra por km^2 por mes varía entre 0.96 para Puntarenas a 1.15 para Nicoya, y los totales anuales están entre cerca de 4.6 (Palmar Sur) y cerca de 6.4 (Nicoya).

Referencias

Alfaro, R., 1981. *Algunos Aspectos de la Precipitación en Costa Rica*. Tesis de Licenciatura (Meteorología), Universidad de Costa Rica, San

José, Costa Rica.

Basso, E., 1967. *Fenómenos Eléctricos en la Atmósfera*. Proyecto de Ampliación y Mejoramiento de los Servicios Hidrometeorológicos e Hidrológicos en el Istmo Centroamericano, Publicación No. 22 (Informe No. 17), San José, Costa Rica, 12 pp.

Chalmers, J.A., 1967. *Atmospheric Electricity* (Second Edition). Pergamon Press, Oxford, 515 pp.

Changnon, S.A., 1988a. Climatology of thunder events in the conterminous United States. Part I: Temporal aspects. *J. Climate*, 1, 389-398.

Changnon, S.A., 1988b. Climatology of thunder events in the conterminous United States. Part II: Spatial aspects. *J. Climate*, 1, 399-405.

Court, A. y J.F. Griffiths, 1982. Thunderstorm climatology. In *Thunderstorms: A Social, Scientific and Technological Documentary, Vol. 2: Thunderstorm Morphology and Dynamics* (E. Kessler, Ed.), U.S. Department of Commerce, Washington D.C., 11-52.

Easterling, D.R. y P.J. Robinson, 1985. The diurnal variation of thunderstorm activity in the United States. *J. Climate Appl. Meteor.*, 12, 1201-1210.

Livingston, E.S., J.W. Nielsen-Gammon y R.E. Orville, 1996. A climatology, synoptic assessment, and thermodynamic evaluation for cloud-to-ground lightning in Georgia: A study for the 1996 summer olympics. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 77, 1483-1495.

Lopez, R.E. y R.L.Holle, 1986. Diurnal and spatial variability of lightning activity in northeastern Colorado and central Florida during the summer. *Mon. Wea. Rev.*, 114, 1288-1312.

Neumann, J., 1951. Land breezes and nocturnal thunderstorms. *J. Meteor.*, 8, 60-67.

Orville, R.E., 1991. Annual summary: Lightning ground flash density in the contiguous United States-1989. *Mon. Wea. Rev.*, 119, 573-577.

Pierce, E.T., 1982. Storm electricity and lightning. In *Thunderstorms: A Social, Scientific and Technological Documentary, Vol. 2: Thunderstorm Morphology and Dynamics* (E. Kessler, Ed.), U.S. Department of Commerce, Washington D.C., 447-466.

Portig, W.H., 1963. Thunderstorm frequency and amount of precipitation in the tropics, especially in the African and Indian monsoon regions. *Arch. Meteorol. Geophys. Bioklimatol.*, 13B, 21-35.

Portig, W.H., 1976. The climate of Central America. In *Climates of Central and South America, World Survey of Climatology, Vol. 12*, Elsevier, New York, 405-478.

Torres, H. y F. Herrera, 1994. Lightning research in Colombia. *22nd International Conference on Lightning Protection* (September 1994), Budapest, Hungary.

Wallace, J.M., 1975. Diurnal variation and thunderstorm frequency over the conterminous United States. *Mon. Wea. Rev.*, 103, 406-419.

Wang, C.P., 1963. Lightning discharges in the tropics. 1. Whole discharges. *J. Geophys. Res.*, 68, 1943-1949.

WMO, 1953. *World Distribution of Thunderstorm Days*, WMO No. 21, T.P. 6 and Supplement (1956), World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 204 y 17 pp.

Watson, A.I., R.L. Holle y R.E. Lopez, 1994. Cloud-to-ground lightning and upper air patterns during bursts and breaks in the southwest monsoon. *Mon. Wea. Rev.*, 122, 1726-1739.