

El régimen diario de la precipitación en el municipio de Quibdó (Colombia)

W. Murillo, R. Palomino, S. Córdoba, G. Aragón y E. Banguero

Grupo de Investigación en Energía Solar y Meteorología, Dpto. de Matemáticas y Física, Universidad Tecnológica del Chocó, Apartado 229, Quibdó, Chocó, Colombia (psolarutch@gmail.com)

(Recibido: 31-Ago-2005. Publicado: 8-Nov-2005)

Resumen

El objetivo principal de este trabajo es analizar las características más representativas del comportamiento del ciclo diario de la precipitación y su variabilidad en el municipio de Quibdó (5,45° N, 76,39° W y 43 m), capital del Departamento del Chocó, Colombia, durante el periodo de 2000-2003. Como resultado de los análisis se destacan las siguientes particularidades: la bimodalidad del ciclo diario es evidente para todos los meses del año y durante todo el año. Se encuentra en general que las mayores precipitaciones se dan en las horas de la noche y en la madrugada, siendo las de la noche las de mayor intensidad. Esta distribución no muestra grandes cambios a través de los meses y años. Se encontró una fuerte correlación entre los datos registrados por la estación radiométrica y meteorológica ubicada en la Universidad, de donde se tomaron los datos para este estudio, y los de la estación ubicada en el aeropuerto El Caraño de la ciudad de Quibdó, con un coeficiente de correlación de 0,97, $R^2 = 95\%$, y $SD = 0,075$. Con este trabajo se pretende, además, sentar bases para desarrollar esquemas de escenarios climáticos para la región, y que éstas sirvan de soporte para futuras investigaciones.

Palabras clave: Precipitación, Quibdó, Chocó, Colombia.

Abstract

The main objective of this work is to analyze the most representative characteristics in the behavior of the daily cycle of the precipitation and its variability in the municipality of Quibdó (5.45° N, 76.39° W and 53 m), capital city of the Department of Chocó, Colombia, during the period of 2000-2003. As a result of the analyses the following particularities stand out: the bimodality of the daily cycle is evident for every month of the year and during the whole year. Usually the biggest precipitations occur at night and at dawn, being the night precipitations the most intense; this distribution doesn't show considerable changes through the months and years. One finds a strong correlation between the data registered by the meteorological and radiometric station located in the University, where we took the data for this study, and those of the station located in the Caraño airport of the city of Quibdó, with a correlation coefficient of 0.97, $R^2 = 95\%$, $SD = 0,075$. With this work it is also sought to establish bases to develop outlines of climatic scenarios for the region, and that they serve as support for future research.

Key words: Precipitación, Quibdó, Chocó, Colombia.

1. Introducción

El ciclo diario de las variables climatológicas es una característica importante de un lugar o región ya que juega un papel fundamental en los procesos biológicos (ciclo circadiano, por ejemplo), ecosistémicos (funcionamiento diario del componente biótico) y socioeconómicos (horarios de actividades). De otra parte, el ciclo diario, al ser una característica típica de las condiciones de un lugar, es un indicador del tiempo a través del cual es posible hacer un seguimiento de la variabilidad climática y del cambio climático.

Es importante conocer el ciclo diario de la precipitación ya que con ello se puede establecer una relación de éste con los procesos biológicos, ecosistémicos y socioeconómicos; esto hacia futuro permite optimi-

zar tal relación en beneficio de la sociedad (adecuado manejo de los recursos naturales, conocimiento del funcionamiento de los ecosistemas con fines de conservación y gestión, etc).

Para diferentes lugares de la zona tropical se ha estudiado el ciclo diario de la precipitación; en cambio, para la región del Pacífico Colombiano, las investigaciones han sido muy escasas, en especial en el municipio de Quibdó ($5,45^{\circ}$ N y $76,39^{\circ}$ W), donde no encontramos estudios, aunque existen algunos trabajos aislados para otras zonas de la región del Pacífico Colombiano. En vista de lo anterior, en el presente trabajo se efectúa el estudio del ciclo diario de la precipitación en Quibdó.

La precipitación es el parámetro meteorológico más influyente en el estado del tiempo de la región del Pacífico Colombiano; está determinada principalmente por la ubicación geográfica y por la influencia de algunos factores con la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), que migra de sur a norte y de norte a sur (latitudinalmente), siguiendo el desplazamiento aparente del sol con respecto al de la Tierra, pasando sobre nuestro país dos veces al año. Por ello es de esperar que, a lo largo del departamento del Chocó y en el municipio de Quibdó, la precipitación tenga un comportamiento de tipo bimodal, es decir, que es un clima que presenta dos estaciones lluviosas y dos estaciones secas no muy marcadas que se generan con el paso de la (ZCIT) a lo largo del año (Eslava, 1994; Mesa *et al.*, 1997; Pabón *et al.*, 2001).

La ciudad de Quibdó se encuentra a una altura de 43 m sobre el nivel medio del mar y registra una temperatura promedio de 28°C . Es la capital del Departamento del Chocó, Colombia, el cual está situado al occidente del país. En el departamento del Chocó la temperatura promedio de sus valles, tierras bajas y costeras es superior a los 27°C , por lo general acompañada de una alta humedad (en promedio del 90 %); la vegetación, como consecuencia de su ubicación y clima, es muy variada y rica (Eslava, 1994).

2. Estudio del ciclo diario de las variables climatológicas en la zona tropical y el Pacífico colombiano

Una de las variables que ha sido muy estudiada en lo que concierne al ciclo diurno en la zona tropical es la precipitación, para lo cual se han utilizado datos de mediciones horarias en superficie y de mediciones con sensores remotos (SSM/I¹ y TRMM²). Se destacan los trabajos de Taikan y Musiak (1994), realizado para Japón y Malasia; Chang *et al.* (1995), Mohr (2004), quienes analizaron el ciclo diario de la precipitación sobre los océanos con base en datos SSM/I; Hall y Van der Haar (1999) analizaron el ciclo diario de la convección profunda en el Pacífico Occidental. El ciclo diurno de la nubosidad sobre el Pacífico Oeste ecuatorial (15°S - 15°N , 130°E - 180°) ha sido analizado por Liberti *et al.* (2001), utilizando imágenes infrarrojas horarias del GMS-4 para el período intensivo de la observación de TOGA COARE (noviembre 1992-febrero 1993). De otra parte, el ciclo diario de la nubosidad tropical fue abordado por Yang y Slingo (2001), quienes encontraron notables diferencias en el ciclo diario de la convección profunda y la precipitación entre el océano y el continente. Finalmente, se destaca el trabajo de Nesbit y Zipser (2003) quienes, con base en mediciones del radar y el *microwave imager* de TRMM, analizaron el ciclo diario de la precipitación, y encontraron particularidades en este ciclo similares a las identificadas por Yang y Slingo (2001) en lo relacionado con la diferencia entre la convección sobre las áreas oceánicas y continentales. Hay muchos otros trabajos sobre el ciclo diario de la convección, la nubosidad y la precipitación en la región tropical, que han tenido un importante desarrollo en el último decenio, permitiendo tener un marco de referencia para analizar el ciclo diario de estas variables climatológicas en el Pacífico colombiano.

El ciclo diario de las variables climatológicas en el territorio colombiano ha sido objeto de estudio de pocos investigadores dentro de los cuales se destaca Eslava (1994), quien analizó el ciclo diario de la radiación solar, la temperatura del aire y la humedad relativa para diferentes sectores de la región Pacífica colombiana; Eslava (1995), al realizar el análisis de la presión atmosférica en Colombia toca aspectos de la región Pacífica; de igual manera, Mesa *et al.* (1997) analizaron el ciclo diario de algunas variables

¹Special Sensor Microwave/Imager

²Tropical Rain Measurement Mission

climatológicas para varios lugares del territorio colombiano. En cuanto al análisis del ciclo diario de variables climatológicas para el Pacífico Colombiano, Eslava (1994) es el único estudio realizado hasta ahora. Por esto, el estado del conocimiento sobre el ciclo diario de las variables climatológicas en el Pacífico Colombiano exige mayor profundización.

3. Materiales y métodos

3.1. Datos e información

Para el desarrollo del presente trabajo se utilizaron los registros horarios de precipitación medidos por una estación meteorológica automática (EMA), localizada en Quibdó en predios de la Universidad Tecnológica del Chocó, que dispone de series continuas de datos para un periodo de cuatro años (2000-2003), y funciona desde 1998. La precipitación viene siendo registrada por un pluviómetro electrónico de balancín, CS700-L, el cual suministra un pulso equivalente a 0,254 mm de lluvia, que es almacenada en un sistema automático de adquisición de datos (DATA LOGGER), que después se pasa a un computador en donde es procesada la información.

La estación se encuentra emplazada en una terraza, en el tercer nivel (a 12 m de la superficie del suelo) de un edificio de la universidad; el lugar donde está la estación se encuentra a una altitud de 53 m sobre el nivel del mar y dista de la costa del Océano Pacífico aproximadamente 75 km, y 3 km del río Atrato que bordea la ciudad.

Debido a que la localización de la estación Meteorológica de la UTCH (se encuentra emplazada sobre una terraza de concreto) podría afectar al comportamiento normal de las mediciones de las variables meteorológicas (principalmente la precipitación objeto de estudio), habría que validar las conclusiones que se hagan sobre esta variable en el presente trabajo; una de las formas de validarla es mediante la comparación de los datos de esta variable con los de la estación cercana, Aeropuerto el Caraño (IDEAM) de la ciudad de Quibdó.

La comparación de medias mensuales de precipitación acumuladas (Fig. 1) muestra que las diferencias entre estas dos estaciones no son significativas; además se comprueba una correlación estadísticamente significativa entre las dos estaciones, para un nivel de confianza del 99 %, con un coeficiente de correlación de 0,979. El error estándar de la estimación muestra que la desviación típica de los residuos es 0,0724. Dado que el p-valor es inferior a 0,05, hay indicio de una posible correlación lineal, donde el mejor modelo ajustado es el multiplicativo; esto permite que se puedan sacar conclusiones sobre las particularidades del ciclo diario sin temor de caer en grandes errores.

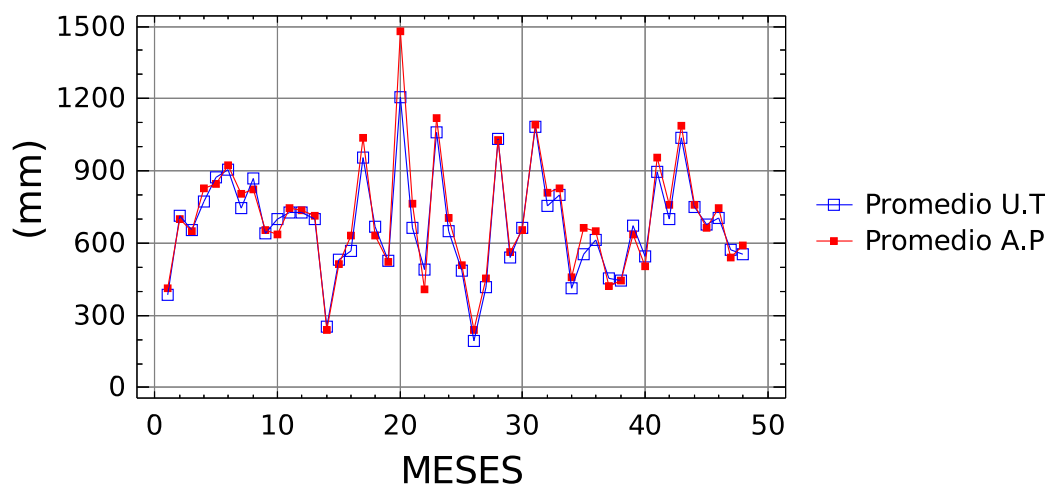


Figura 1: Precipitación acumulada (valores medios mensuales) en la estación meteorológica del Aeropuerto El Caraño (A.P) y en la EMA de la Universidad Tecnológica del Chocó (U.T).

Adicionalmente, se efectuó la comparación de los datos de las dos estaciones mediante la comparación de dos muestras normales independientes (las series de anomalías mensuales de precipitación). Mediante la aplicación de la prueba de contraste de Kolmogorov-Smirnov, la prueba de Bartlett y el supuesto o condición de homogeneidad de varianza se logró establecer que no existe diferencia estadísticamente significativa entre las series mensuales de precipitación de las dos estaciones IDEAM y UTCH.

3.2. Métodos de análisis

Inicialmente se llevó a cabo la revisión y verificación de datos. Se descartaron los datos erróneos y, posteriormente, se realizó la complementación de las series mediante el relleno de datos aplicando el paquete estadístico TRAMO (*Time Series Regression with ARIMA Noise Missing Observations and Outliers*), que utiliza la metodología *additive outlier approach*, la cual asigna un valor provisional, por interpolación, que consiste en la diferencia entre el valor provisional y los parámetros de regresión estimado (Gómez *et al.*, 1999). Mediante este procedimiento se organizaron series completas horarias para el período 2000-2003 de precipitación.

Con los datos horarios de cada mes se construyó (mediante el promedio) el ciclo diario promedio del mes; esto se realizó para cada uno de los meses de los cuatro años del periodo estudiado. Posteriormente, se promediaron los cuatro ciclos diarios correspondientes a un mes de los cuatro años, para así obtener el ciclo diario típico del período de estudio, con el cual se hará la descripción en este trabajo. Además se hace una breve descripción del comportamiento de los valores medios mensuales de la precipitación en la ciudad de Quibdó, durante el periodo de estudio.

4. Análisis y discusión

4.1 Variación de los valores medios mensuales de la precipitación a través del año

En la tabla 1 y la Fig. 2, se muestra el comportamiento de la serie de valores medios mensuales de precipitación acumulada para la ciudad de Quibdó durante el periodo 2000-2003.

Como se puede apreciar la serie presenta un comportamiento bimodal, es decir, que la región se caracteriza por la presencia alternada de dos estaciones muy lluviosas (de abril hasta septiembre y noviembre-diciembre) y dos respectivamente menos lluviosas (enero hasta marzo y el mes de octubre). Los máximos valores tienen lugar en los meses julio y agosto, y los mínimos en enero y febrero.

Las altas precipitaciones que se registran en la ciudad de Quibdó son del orden de los 8135 mm, lo que es equivalente 8135 litros de agua en un metro cuadrado logrando una altura de 8 m con 135 mm. Además, las dos temporadas lluviosas que se presentan muestran porcentualmente diferencias significativas que hay que tener en cuenta: en la primera temporada lluviosa hay cerca del 58 % de la precipitación total anual, en cambio en la segunda temporada lluviosa solo se presenta el 17 %; en la temporada menos lluviosa (enero-marzo) solo se presenta el 18 % de la precipitación total anual, y en la segunda temporada de menor lluvia, que cubre solamente un mes (octubre), se presenta el 7 % del total anual, aunque este mes más que representar una temporada seca se puede considerar como un periodo de transición entre dos periodos más lluviosos.

Tabla 1: Valores medios mensuales de precipitación acumulada (mm), para la ciudad de Quibdó

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
506,4	401,6	568,6	728,5	816,7	733,9	847,6	895,5	695,3	577,0	728,6	635,4	8135,2

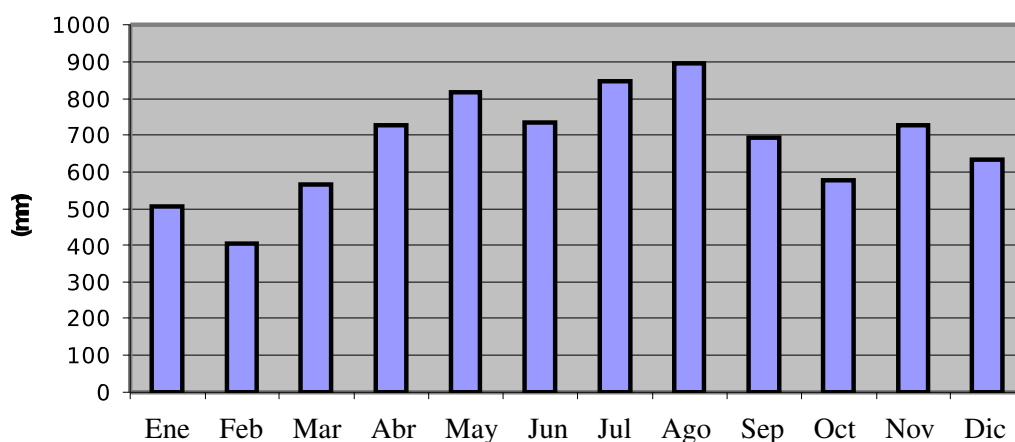


Figura 2: Valores medios mensuales de precipitación acumulada en la ciudad de Quibdó durante los años (2000-2003), estación meteorológica de la Universidad Tecnológica del Chocó.

4.2. Descripción del ciclo diario típico de la precipitación

Al analizar el comportamiento del ciclo diario de la precipitación utilizando los promedios horarios (Fig. 3), se puede apreciar un comportamiento algo irregular, aunque se identifica claramente cierta bimodalidad con lluvias máximas entre las 01:00 y las 05:00 HL (hora local) y entre las 18:00 y las 22:00 HL, siendo el segundo máximo el de mayor amplitud y el que presenta las mayores cantidades de lluvia. Entre las 10:00 y las 16:00 HL las lluvias son poco abundantes para todos los meses. Lo anterior confirma que las precipitaciones más fuertes en la región se presentan al finalizar la tarde y en horas de la noche y la madrugada.

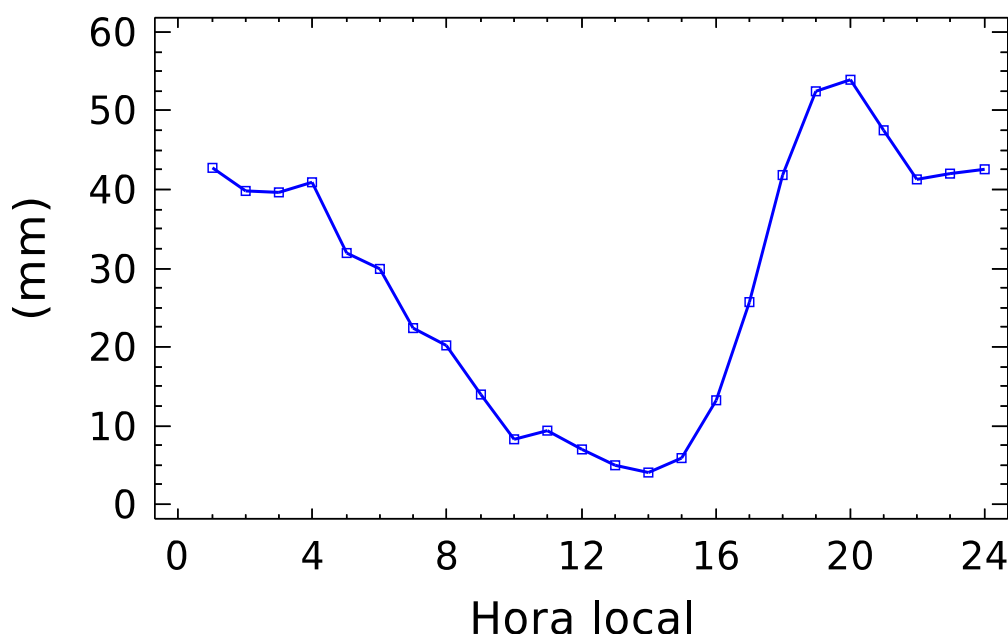


Figura 3: Valores horarios medios del ciclo diario de la precipitación durante los años 2000-2003, en la ciudad de Quibdó, estación meteorológica de la Universidad Tecnológica del Chocó.

Los valores medios de precipitación máxima acumulada oscilan entre 40 y 160 mm/h (aunque las máximas absolutas pueden alcanzar los 253 mm/hora), y los promedios de precipitación mínima acumulada oscilan alrededor de los 0,70 y 7,87 mm. Así, la amplitud del ciclo diario de la precipitación promedio acumulada en Quibdó es de 152 mm.

Por lo que concierne a los valores máximos y mínimos se puede observar que para los meses de enero, febrero, marzo y abril, el primer máximo, que se presenta entre la 1:00 y 5:00 HL, es mayor que el que se presenta entre las 18:00 y 22:00 HL. En cambio para los meses entre mayo y diciembre pasa lo contrario: las precipitaciones que se presentan entre las 18:00 y 22:00 HL son más abundantes que las que se presentan entre las 01:00 y 5:00 HL; esta diferencia es de mayor amplitud durante los meses de junio, julio y agosto (Fig. 4).

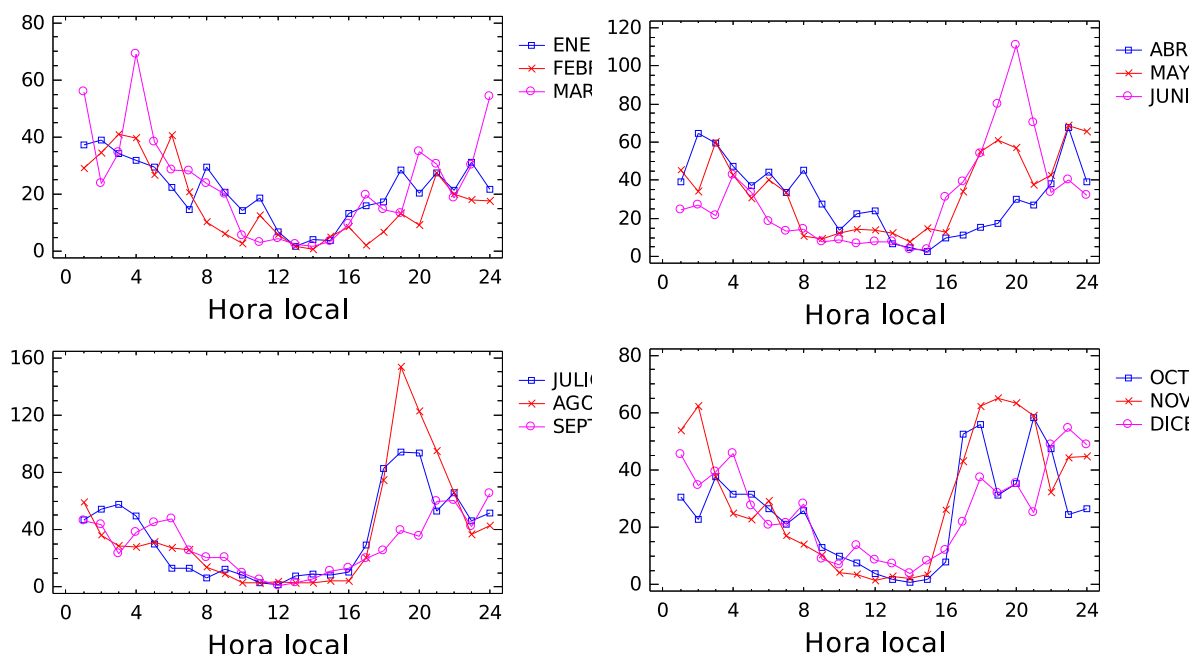


Figura 4: Valores horarios medios del ciclo diario de la precipitación mensual durante los años 2000-2003, en la ciudad de Quibdó, estación meteorológica de la Universidad Tecnológica del Chocó.

Esta variación al parecer responde a procesos convectivos, térmicos y dinámicos, que se llevan a cabo en la región. Las lluvias se pueden presentar en cualquier día y mes del año. La mayor probabilidad para que se generen sucesos de máxima precipitación es en épocas lluviosas (abril-octubre). Los días de menos probabilidad de lluvia corresponden a los meses de enero y febrero, y los de mayor cantidad de días con lluvia al resto del año. El promedio mensual de días con lluvia oscila entre 23 y 28 días, con un promedio anual de 325 días para el periodo de estudio.

5. Conclusiones

En este estudio se ha examinado el ciclo diario de la precipitación acumulada horaria en la ciudad de Quibdó. Los análisis de la información condujeron a conclusiones concretas y satisfactoriamente aceptadas sobre el ciclo diario de la precipitación en el municipio de Quibdó.

Primero que todo se comprueba que la variación del ciclo diario de la precipitación se caracteriza por presentar distribución bimodal, con dos periodos de valores máximos y un mínimo principal. Las altas precipitaciones que se generan en la región presentan una mayor frecuencia y son más abundantes al finalizar la tarde y en horas de la noche. Las mayores cantidades de precipitación se reciben en los meses de agosto, junio y julio, y las menores cantidades en el mes de febrero. Las mayores cantidades de precipitación se reciben entre las 18:00 y las 22:00 horas.

Los resultados obtenidos muestran que el ciclo diario de la precipitación en la ciudad de Quibdó presenta características típicas de los climas tropicales. El ciclo diario de la precipitación en la ciudad de Quibdó presenta una variación en el día muy marcada, la diurna registrando un 24 % y la nocturna un

76 %. Esta variación de la precipitación, al parecer, responde a procesos convectivos térmicos y dinámicos, que se desarrollan a lo largo del día.

Las lluvias máximas en 24 horas pueden presentarse en cualquier día y mes del año, registrándose un máximo de hasta 166 mm en un día. La mayor probabilidad de los máximos es que se den en épocas lluviosas (abril-octubre). El número de días con lluvia oscila alrededor de 25 días, y el promedio anual es de 325 días.

Se encontró una correlación significativa en los datos acumulados mensuales de la estación ubicada en el Aeropuerto El Caraño (IDEAM) y la estación Solar y Meteorológica de la Universidad Tecnológica del Chocó, lo cual reafirma la validez y confiabilidad de los datos de la estación ubicada en la Universidad.

Bibliografía

Chang ATC, Chiu LS, Yang G (1995): Diurnal cycle of oceanic precipitation from SSM/I data. *Monthly Weather Review*, 123:3371-3380.

Eslava JA (1994): *Climatología del Pacífico colombiano*. Academia Colombiana de Ciencias Geofísicas. Colección Eratóstenes, No. 1, Santa Fe de Bogotá D.C., 79 pp.

Eslava JA (1995): *Régimen de la presión atmosférica en Colombia*. Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Colección Jorge Alvarez Lleras No. 8, Santa Fe de Bogotá, D.C., 149 pp.

Gomez V, Maravall A, Pena D (1999): Missing observations in ARIMA models: skipping approach versus additive outlier approach. *Journal of econometrics*, 88:341-364.

Hall TJ, Van der Haar TH (1999): The Diurnal Cycle of West Pacific Deep Convection and Its Relation to the Spatial and Temporal Variation of Tropical MCSs. *J. of the Atm. Sci.*, 56:3401-3415.

Liberti GL, Cheruy F, Desbois M (2001): Land Effect on the Diurnal Cycle of Clouds over the TOGA COARE Area, as Observed from GMS IR Data. *Monthly Weather Review*, 129:1500-1517.

Mesa OJ, Poveda G, Carvajal LF (1997): *Introducción al clima de Colombia*. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, Facultad de Minas, Posgrado en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos, Medellín, 390 pp.

Mohr KI (2004): Interannual, Monthly, and Regional Variability in the Wet Season Diurnal Cycle of Precipitation in Sub-Saharan Africa. *J. of Climate*, 17:2441-2453.

Nesbitt SW, Zipser EJ (2003): The diurnal cycle of rainfall and convective intensity according to three years of TRMM measurements. *J. of Climate*, 16:1456-1475.

Pabón J, Eslava J, Gomez R (2001): Características de gran escala del clima de la América Tropical. *Meteorol. Coloma.*, 4:47-53.

Taikan O, Musiaka K (1994): Seasonal Change of the Diurnal Cycle of Precipitation over Japan and Malaysia. *J. of Appl. Meteor.* 33:1445-1463.

Yang GY, Slingo J (2001): The Diurnal Cycle in the Tropics. *Monthly Weather Review*, 129:784-801.

