

**DISTRIBUCIÓN DE LAS FECHAS DE INICIO  
DE LA TEMPORADA LLUVIOSA MEDIANTE ANÁLISIS  
ARMÓNICO DE LA REGIÓN CENTRO NORTE  
DE VENEZUELA**

POR

JORGE RODRÍGUEZ GÓMEZ\*

*Introducción*

En la presente investigación el autor propone y realiza una aplicación de los coeficientes Fourier o coeficientes armónicos, logrados de un conjunto de 102 estaciones pluviométricas distribuidas de manera irregular en un área de estudio previamente seleccionada, con el objeto de matematizar y cartografiar las isocronas de los máximos pluviales debidos a la Convergencia Intertropical (CIT), con base a ello obtener la distribución espacial del inicio de la temporada lluviosa. Así mismo, como meta complementaria, el enfoque usado pretende sugerir una línea de investigación, más no una sustitución, de las otras estrategias metodológicas empleadas por los geógrafos y profesionales afines en la descripción, y posible explicación, de los rasgos básicos de los patrones espaciales y temporales de la lluvia en el ámbito regional.

Básicamente los objetivos perseguidos fueron:

*Objetivos*

1. Determinar matemáticamente, mediante la técnica del Análisis Armónico (AA), o Análisis Fourier, la fecha del máximo pluvial, debido a la CIT, de un conjunto muestral de 102 estaciones pluviométricas

---

\* Escuela de Geografía. Universidad Central de Venezuela.

distribuidas irregularmente en un sector de la Región Norte de Venezuela.

2. Elaborar, con base a un índice obtenido de los coeficientes Fourier, un mapa de isolíneas de máximos pluviales causados por la CIT, el cual permita conocer la distribución espacial de las fechas de inicio de la época lluviosa en el sector estudiado.

La importancia de este estudio radica en que:

1. Puede hacer factible la identificación, en cualquier lugar del área de estudio, la fecha promedio de inicio de la temporada lluviosa, de modo que dicha información pueda ser relacionada a proyectos de naturaleza hidroclimática.

2. Contribuya al acervo del conocimiento pluviográfico zonal.

3. Sugiera una línea de investigación analizar distribuciones temporales y espaciales de la lluvia a escala regional.

#### *Antecedentes metodológicos*

Una revisión de 25 títulos de la literatura especializada en el tema tratado hizo concluir que entre las estrategias utilizadas para obtener patrones temporales y espaciales de los elementos climáticos se encuentran las siguientes: (1) Presentación y discusión «cualitativa» de los registros meteorológicos mensuales (Horn y Bryson, 1960); (2) Elaboración e interpretación de mapas de isolíneas (Sánchez Carrillo, 1988); (3) Comparación de gráficas de la distribución anual del elemento climático (Ward, citado por Horn y Bryson, op. cit.); (4) Determinación espacial del cambio significativo del índice de correlación (Berndtsson, 1988); (5) Métodos «multivariados lineales» como el Análisis de Componentes Principales y el Análisis de Factores combinados con otros métodos multivariados no lineales como el Análisis de Particiones o Conglomerados (Whetton, 1988, y Goosens, 1985); (6) Distribución o zonificación espacial de la lluvia mediante el Análisis Armónico (Kyrkyla *et al.*, 1989, y Rodríguez G., 1994); esta técnica, expresan Sabbagh y Bryson (1962), «... describe y mapea objetivamente estas características espacio-temporales de la precipitación. En este método, la curva de precipitación anual es transformada a un número definido de componentes

de varianza que en conjunto totalizan la curva». Finalmente, Guevara Díaz (1987) manifiesta que «cuando las series meteorológicas o climáticas tienen un comportamiento periódico como... la marcha de la lluvia en los 12 meses del año..., la estimación da buenos resultados por el análisis armónico».

De las referencias arriba citadas se concluye que el AA es una técnica que ha dado resultados pertinentes a otros investigadores en distintos ámbitos territoriales y que, posiblemente, también tenga una aplicación fructífera al estudio tempero-espacial de la lluvia en nuestro País, tal como lo plantea esta investigación.

#### *Bases teórico-meteorológicas*

Para proceder a articular una herramienta matemática como el AA al proceso meteorológico de la precipitación en el transcurso intra-anual es necesario convenir en los siguientes supuestos o convenciones acerca de dicho proceso.

1. La distribución de la lluvia, en el lapso anual, puede examinarse climáticamente a través del análisis del régimen anual de las medias mensuales de la lluvia, o sea mediante el estudio de los 12 promedios mensuales.

2. La representación gráfica de los 12 promedios de lluvia nos da el comportamiento del proceso meteorológico respectivo.

3. La representación gráfica de los 12 promedios de lluvia es el resultado de diversos mecanismos y factores meteorológicos que se combinan, simultáneamente, en distintas «escalas espaciales». Tales causas físico-naturales pueden reducirse, básicamente, en territorio venezolano a las siguientes:

- a) Convergencia Intertropical (CIT).
- b) Ondas del Este.
- c) Masas de Aire Frío.
- d) Tormentas Tropicales.
- e) Cobertura Superficial (a la que se asocian Procesos Convectivos).
- f) Extensión y Orientación del Relieve (a los que se asocian Procesos Orográficos).

4. La CIT es la principal causante de la estacionalidad de la lluvia mensual en el lapso anual; es decir, las ocurrencias de una época lluviosa y de una época seca parecen estar estrechamente vinculadas con la aparición y desaparición cíclica de la CIT, la cual a su vez se relaciona con la traslación anual aparente del sol (Sumner, 1978). Ello significa que si la CIT actuara una sola vez en un área determinada, la correspondiente representación gráfica pluvio-regional sería una curva periódica de un sólo ciclo, en el lapso anual, con un sólo máximo pluvial y con un sólo mínimo pluvial.

*Bases teórico-estadísticas*

Las condiciones o supuestos teórico-estadísticos se resumen en los siguientes ítems:

1. El AA permite que cualquier curva irregular o compleja, como la gráfica de las 12 lluvias medias mensuales pueda ser expresada matemática y geoméricamente como la suma algebraica de una serie de curvas simples o curvas armónicas.

2. Si la sucesión de los 12 valores medios mensuales de lluvias se representa matemáticamente como  $f(t)$ , su desagregación o descomposición armónica viene dada por la expresión algebraica trigonométrica siguiente:

$$f(t) \approx (A_0/2) + [A_1 \cos (W_0 t) + B_1 \text{sen } (W_0 t) + \dots + [A_5 \cos (5 W_0 t) + B_5 \text{sen } (5 W_0 t)]$$

donde

- $A_0/2$  = media aritmética de los 12 valores medios mensuales
- $A_1, B_1$  = coeficientes Fourier del primer componente armónico
- $A_2, B_2$  = coeficientes Fourier del segundo componente armónico
- ..... = .....
- $A_5, B_5$  = coeficientes Fourier del quinto componente armónico
- $W_0$  = «frecuencia angular fundamental» =  $360^\circ/12$  meses =  $30$  ( $^\circ$ /mes)
- $t$  = variable tiempo = 1,2,, 12 meses

En general,

$A_n \cos(n \omega_0 t) + B_n \sin(n \omega_0 t)$  = armónico de orden  $n$

$A_n = (2/T) \{f(1) \cos(n \omega_0 t) + \dots + f(12) \cos(n \omega_0 t)\}$

$B_n = (2/T) \{f(1) \sin(n \omega_0 t) + \dots + f(12) \sin(n \omega_0 t)\}$

donde,  $T$  = periodo de  $f(t)$  = 12 meses.

Reorganizando la expresión trigonométrica de  $f(t)$ , se tiene que:

$$f(t) - (A_0/2) \approx [A_1 \cos(\omega_0 t) + B_1 \sin(\omega_0 t) + \dots + [A_5 \cos(5 \omega_0 t) + B_5 \sin(5 \omega_0 t)]$$

Es decir, los sucesivos desvíos de cada valor individual de lluvia con respecto a la media aritmética de los 12 promedios mensuales puede sustituirse por la suma de los 5 componentes armónicos.

3. Cada componente armónico puede ser representado gráficamente con base a dos «parámetros»: la amplitud y el ángulo de fase; este último puede ser de dos tipos: ángulo de fase senoidal (AFs) y ángulo de fase cosenoidal (AFc). Los parámetros aludidos se determinan con base a la siguiente relación:

$$(C_n)^2 = \text{amplitud del armónico de orden } n = (A_n)^2 + (B_n)^2$$

$$\text{AFc} = \text{ángulo de fase cosenoidal} = \arccos |A_n/C_n|, \text{ para todo } A_n, B_n > 0$$

El AFc nos permitirá ubicar la localización del máximo de la curva armónica con respecto al origen de coordenadas.

4. La contribución de cada armónico a la «explicación» de la varianza maestra de  $f(t)$  puede ser cuantificada con base a la expresión:

$$\text{Contribución del armónico de orden } n = \\ = (\text{Varianza del armónico de orden } n) / (\text{varianza de } f(t))$$

donde

$$\text{varianza del armónico de orden } n = [(C_n)^2/2]$$

$$\text{varianza de } f(t) = \text{varianza de la lluvia media mensual en el lapso anual}$$

*Propuesta climático-matemática*

El primer componente armónico se relaciona con el único «paso» anual de la Convergencia Intertropical; los demás componentes armónicos se vinculan con los restantes procesos asociados a la curva de medias mensuales de lluvia.

*Estrategia operacional*

La estrategia operacional consistirá en determinar para cada punto de medición o estación pluviométrica el primer componente armónico de su régimen pluvial anual; esa curva armónica de primer orden permitiría definir el ángulo de fase del máximo pluvial debido a la CIT. Así mismo, el conjunto discreto de ángulos de fase de los máximos pluviales, uno por cada estación pluviométrica, servirá para elaborar una superficie continua de ángulos de fase con el cual podría construirse el cartograma de isócronas tanto de los máximos pluviales como del inicio de la temporada lluviosa debida a la CIT; con dicho cartograma podría estimarse, para cualquier lugar del área de estudio, la correspondiente fecha promedio del inicio de lluvias o de máximo pluvial.

*Área de estudio*

El conjunto de 102 unidades maestras se encuentran irregularmente distribuido en un territorio que presenta las siguientes características georeferenciales aproximadas:

Extensión «Latitudinal»	9° N - 10° 40' N
Extensión «Longitudinal»	66° W - 67° 30' W
Extensión Areal	30.200 km <sup>2</sup> (similar a Bélgica)

Desde el punto de vista fisiográfico se identifican, de norte a sur, las siguientes unidades: (1) una estrecha franja, alargada en la dirección de los paralelos geográficos, constituida por el ambiente litoral (planicie litoral); (2) una zona de relieve accidentado constituida por la denominada Serranía del Litoral de la Cordillera de la Costa; (3) una zona ac-

cientada pero con sectores más deprimidos que los de la Serranía Litoral, y otra segunda zona, más al este que la anterior, formada por áreas de relieve ondulado y plano (Depresión de Barlovento); (4) un territorio de relieve accidentado constituido por la Serranía del Interior de la Cordillera de la Costa y (5) un sector de la planicie aluvial de la región de los Llanos. Véase croquis donde se muestra un perfil topográfico del meridiano  $66^{\circ}45' W$  desde la línea de costa hasta el paralelo  $9^{\circ} N$  (Fig. 1).

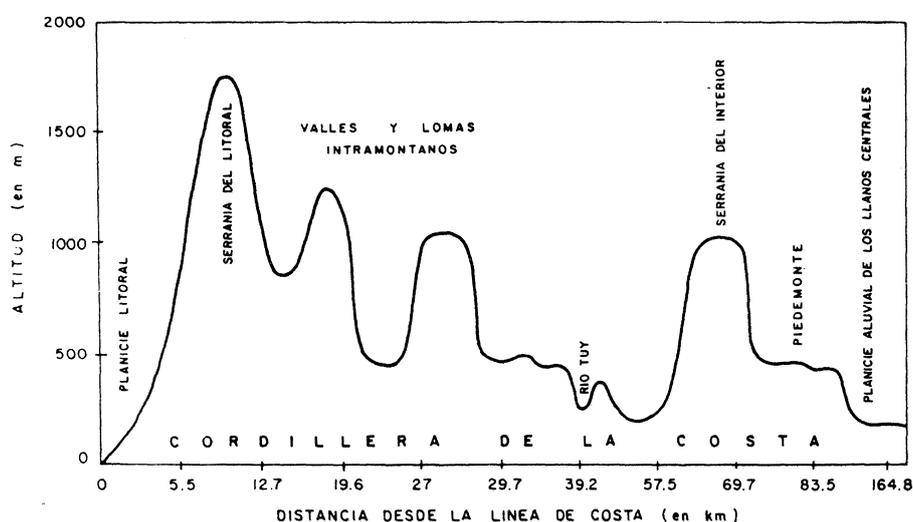


FIG. 1.—Perfil topográfico del meridiano  $66^{\circ}45' W$  desde la línea de costa hasta el paralelo  $9^{\circ} N$ .

### Información y periodo meteorológicos

El conjunto de unidades muestrales está constituido por 102 puntos de medición, de los cuales se recabaron 12 totales mensuales de lluvia, comprendidos, para un 83% de las unidades de muestreo, desde 1969 hasta 1983 (15 años). Dichas estaciones tienen la siguiente distribución espacial: 76 con latitud mayor a  $10^{\circ} N$ ; 74 entre  $66^{\circ} W$  y  $67^{\circ} W$ ; 65 a 500 ó menos msum; 19 entre 500 y 1.000 msnm; 18 por arriba de los 1.000

msnm; 4 en el Estado Aragua, 25 en el Distrito Federal; 25 en el Estado Guárico y 48 en el Estado Miranda.

### *Metodología*

Las fases que se llevaron a cabo fueron las siguientes:

1. Cálculo de Medias Mensuales de lluvia. Se totalizaron en total 1.224 medias aritméticas (12 valores medios para cada una de las 102 estaciones pluviométricas);

2. Cálculo del Ángulo de Fase Cosenoidal (AFc). Se computaron 102 ángulos de fase cosenoidales, uno por cada punto de medición.

3. Elaboración y Análisis del Cartograma de Isolíneas de AFc para el primer componente armónico. El AFc nos permitirá identificar el momento en que ocurre el máximo pluvial de la curva armónica; es decir, el AFc indicará cuánto tiempo ha transcurrido desde el comienzo del año civil hasta donde se ubica el valor máximo de la lluvia (ver mapa anexo).

Para convertir AFc a tiempo cronológico se convino en convertir, mediante un factor de equivalencia, grados sexagesimales a días, asumiendo que  $360^\circ$  son equivalentes a 365 días, de modo que se obtendrían, por ejemplo, las siguientes cantidades correspondientes.

Días transcurridos en el año	Fecha de los días transcurridos	Ángulo de Fase Cosenoidal (en °)
0	—	0,00
31	31 de enero	30,60
120	30 de abril	118,40
181	30 de junio	178,50
365	31 de diciembre	360,00

Con base a la correspondencia entre AFc y fecha del máximo pluvial se hizo la siguiente compilación estadística:

*DISTRIBUCIÓN DE LAS FECHAS DE INICIO DE LA TEMPORADA LLUVIOSA...*

<b>Mes con máximo pluviual</b>	<b>Inicio de lluvias</b>	<b>Número de casos</b>	<b>Proporción de casos (%)</b>	<b>Temporada lluviosa</b>
Agosto	Mayo	65	63,73	Mayo-Octubre
Septiembre	Junio	18	17,65	Junio-Noviembre
Octubre	Julio	10	9,80	Julio-Diciembre
Noviembre	Agosto	3	2,94	Agosto-Enero
Diciembre	Septiembre	6	5,88	Septiembre-Febrero

Esta cronología es válida solamente cuando el máximo pluviual ocurre el primer día del mes; por ejemplo, cuando el máximo pluviual se presenta el 1.º de agosto, el inicio de las lluvias es el 1.º de mayo, extendiéndose la temporada lluviosa hasta

Es de notar que en ninguna de las estaciones pluviométricas localizadas en la región de los Llanos Centrales (con relieve plano y relativamente alejada de la influencia de las perturbaciones tropicales e invasiones de aire polar), el máximo pluviual se ubica fuera del trimestre julio-septiembre. Así mismo, solamente un caso de los 65 que tienen máximo pluviual en agosto no pertenece a la mencionada región llanera. De aquí se conjetura que en aquellas áreas donde no haya interferencias significativas de carácter fisiográfico o atmosférico-dinámico distinto al de la CIT, el máximo pluviual del régimen unimodal se ubicaría en el trimestre julio-septiembre. Si el máximo se traslada para fines o comienzo de año se debería a modificaciones introducidas por los controles climáticos distintos a la CIT. En resumen, del análisis del AFc de la serie armónica unimodal resultan las siguientes deducciones: (1) el AFc es una variable que posibilita la «matematización», y subsiguiente «geometrización», del comienzo del subproceso pluviual asociado a la CIT. A tal respecto es atinente la observación de Grosske (1964): «Actualmente la ciencia no tiene todavía los medios para pronosticar la entrada y las características de la temporada pluviosa...» y, en ese orden de ideas, se sugiere que los resultados aquí expuestos podrían tomarse como una aproximación a la incertidumbre expresada por el mencionado investigador; (2) parece haber una relación entre la distribución espacial de la variable del AFc y los factores climáticos de la latitud y la orografía. El sentido de la conexión entre el AFc y la latitud es directo,

Estudios Geográficos, LXIV, 251, 2003

es decir, a mayor latitud, mayor AFc. El sentido de la conexión entre el AFc y la fisiografía es también directa, es decir, a mayor cambio del desnivel topográfico, mayor variabilidad de AFc.

### *Bibliografía*

- BERNDESSON, R. (1988): «Temporal variability in spatial correlation of daily rainfall», *Water Resources Research*, 24 (9), 1511-1517.
- GOOSENS, Chr. (1985): «Principal component analysis of Mediterranean rainfall», *Journal of Climatology*, 5, 379-388.
- GUEVARA DÍAZ, J. M. (1987): *Métodos de estimación y ajuste de datos climáticos* (Colección Monografías 12), Caracas, Venezuela: Universidad Central de Venezuela, Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico.
- HORN, L. H. y BRYSON, R. A. (1960): «Harmonic analysis of the annual march of precipitation over the United States», *Annals of the Association of American Geographers*, 50, 157-171.
- KYRKYLA, K. I. y HAMEED, S. (1989): «Harmonic analysis of the seasonal cycle in precipitation over the United States: a comparison between observations and a general circulation model», *Journal of Climatology*, 2 (12), 1463-1475.
- RODRÍGUEZ G. J. (1994): *Conceptos teóricos básicos del Análisis Armónico y su aplicación al estudio de las variaciones espacial y temporal de la lluvia en el ámbito regional*. Caracas, Venezuela. (Trabajo de Ascenso presentado en la Universidad Central de Venezuela para optar a la categoría de Profesor Asociado).
- SABBAGH, M. E. y BRYSON, R. A. (1962): «Aspects of the precipitation climatology of Canada investigated by the method of harmonic analysis», *Ann. of the Assoc. of American Geographers*, 52, 426-440.
- SUMNER, Graham N. (1978): *Mathematics for physical geographers*. Gran Bretaña: Edward Arnold (Publishers) Limited.
- UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA. Facultad de Ingeniería, Departamento de Meteorología e Hidrología (1964): *La vaguada intertropical y su relación con las temporadas pluviosas y secas en Venezuela*. Caracas. Grosske. F.
- (1988): *Regiones Homoclimáticas del Estado Portuguesa*. Caracas. Sánchez Carrillo, Jesús M.
- WHETTON, P. H. (1988): «A synoptic climatological analysis of rainfall variability in southeastern Australia», *Journal of Climatology*, 8, 155-177.

RESUMEN: *Distribución de las fechas del inicio de la temporada lluviosa mediante análisis armónico de la región Centro Norte de Venezuela*. En el lapso anual los totales mensuales de lluvia en Venezuela tienen diversas causas entre las cuales cabe mencionar a las ondas del Este, las tormentas tropicales, las masas de aire provenientes de frentes fríos ocluidos y la debida a procesos convectivos y a la Convergencia Intertropical (CIT), siendo esta última el origen principal de la temporada lluviosa en Venezuela. Dado que la curva o gráfica de la distribución mensual de la lluvia, en el lapso anual, refleja conjuntamente el efecto de todos esos fenómenos meteorológicos, no es posible definir con precisión cuándo se presenta la Convergencia Intertropical (la cual se hace presente solamente en una parte del año) y, por ende, señalar el posible comienzo de la temporada lluviosa, momento que podría usarse para planificar aquella actividad humana

relacionada con dicho proceso pluvial. Sin embargo, mediante la técnica del Análisis Armónico, basada en las series trigonométricas de Fourier, se pudo realizar una separación matemática de la contribución que ocasionan los factores mencionados sobre la lluvia en su transcurso anual, realzando de modo particular a la fracción proveniente de la CIT. La aplicación del análisis armónico a 102 estaciones pluviométricas sobre un sector de la Región Centro Norte de Venezuela permitió obtener la distribución temporal de la lluvia en cada punto de medición, información que permitió identificar la siguiente distribución temporal del comienzo de las lluvias debido básicamente al CIT: 65 en mayo, 18 en junio, 10 en julio, 3 en agosto y 6 en septiembre. Con base a parámetros de la serie de Fourier, y mediante la técnica de interpolación Kriging, se elaboró la representación cartográfica de las isocronas del máximo de la temporada lluviosa ocasionada por la CIT, isolíneas que posibilitan modelar especialmente, y de modo continuo, al proceso pluvial, lo cual permite estimar, en promedio, el comienzo de la temporada lluviosa en cualquier localidad del área en estudio.

**PALABRAS CLAVES:** Convergencia Intertropical (CIT), análisis armónico, series de Fourier.

**ABSTRACT:** *Space distribution of the dates of beginning of the rainy season by means of the technique of the harmonic analysis of a sector of the region North center of Venezuela.* In the annual lapse the monthly totals of rain in Venezuela have diverse causes among which is necessary to mention to the waves of the East, the tropical storms, the masses of air coming from occluded cold fronts and the due one to processes convective and the Intertropical Convergence (ITC), being this last one the main origin of the rainy season in Venezuela. Since the curve or graph of the monthly distribution of the rain, in the annual, reflective lapse jointly the effect of all those meteorological phenomenons, is not possible to define accurately when the ITC is presented (which becomes present only in a part of the year) and, therefore, to point out the possible beginning of the rainy season, moment that could be used to plan that human activity related with this pluvial process. However, by means of the technique of the Harmonic Analysis, based on the the trigonometrical series of Fourier, it could be carried out a mathematical separation of the contribution that cause the factors mentioned on the rain in their annual course, enhancing in way peculiar to the fraction coming from the ITC. The application of the harmonic analysis at 102 pluviometric stations on a sector of the Region North Center of Venezuela it allowed to obtain the temporary distribution of the rain in each measurement point, information that allowed to identify the following temporary distribution of the beginning of the rains basically the ITC: 65 in May, 18 in June, 10 in July, 3 in August and 6 in September. With base to parameters of the series of Fourier, and by means of the interpolation technique Kriging, the cartographic representation of the isochronous of the maximum of the rainy season was elaborated caused by the ITC, isolines that facilitate to model spacially, and in a continuous way, to the pluvial process, that which allows to estimate, on the average, the beginning of the rainy season in any place of the area in study.

**KEY WORDS:** Intertropical Convergence (ITC), Harmonic Analysis, series of Fourier.

**RÉSUMÉ:** *Distribution spatiale de e calendries d'iniçie de la saison de précipitation pour la technique d'analysis harmonique d'un secteur de a région Centrenord au Venezuela.* Les pluies au Vénézuela ont divers causes. Entre celles-ci trouve: ondes de l'este, les orages tropicales, les masses d'air qui viennent de fronts froids, les procès convectives et la convergence intertropicale (CIT), cet dernière comme point d'origine

principal de la saison de pluviosité dans Vénézuéla. Selon la curve de la distribution mensuel de la précipitation pendant l'année, on peut voir quelques événements qui met en action (au même temps) et n'est pas possible identifier avec précision le moment qui se présente la CIT (lequel on fait présent seulement un fois pour l'année), et celle-ci marque le possible commencement de la saison pluvieuse. Moment utilisé pour organiser les activités humaines associées avec le processus pluviel. Malgré, pour la technique d'analyse harmonique, laquelle travail avec les séries trigonométriques de Fourier, on pu faire une séparation mathématique de la contribution que occasionnent les facteurs énoncée sur la pluie en leur marche annuel, en marque particulièrement au fraction qui vient de la CIT. L'application d'analyse harmonique à 102 stations pluviométriques sur un secteur de la région Centre-nord au Vénézuéla permis obtenir la distribution temporel de la pluie en chaque point de mesure, information que a permis identifier le distribution temporel d'origine de les précipitations due du CIT de suivant forme: 65 en mai, 18 en juin, 10 en juillet, 3 en août et 6 en septembre. Selon paramètres de la série de Fourier, à travers la technique d'interpolation de Kriging, on a fait le representation cartographique de les isocrones du maximum de la saison pluvieuse occasionnée pour la CIT, isolignes qui fait possible modeler spatialement et de façon, el proceso de lluvia, laquelle permette estimer, en moyenne, l'origine de la saison de pluie en quelque localité d'aire à travailler.

MOTS CLEFS: Convergence intertropicale (CIT), analyse harmonique, séries de Fourier.