

El Índice de Circulación de Katz. Una aplicación en investigaciones sobre variabilidad climática regional.

Roberto Aroche Ramírez¹, Ismael Pomares¹, Nélida Varela¹, Nancy Masó² y Nancy Fernández²

¹Centro Meteorológico de Camagüey. Carretera á Nuevitas, Km 71/2 Cuba

²Instituto de Meteorología. Loma de Casablanca. Habana, Cuba

e-mail raror1@yahoo.com

RESUMEN

.El presente trabajo aplica el Índice de Circulación de la **Atmósfera ICA** de Katz, en el Gran Caribe (GC), región más pequeña que las convencionales, que además constituye una zona de transición, físico-geográfica y meteorológica.

Se utilizaron los datos de alturas geopotenciales de 12 niveles de la tropósfera, correspondientes al período 1958-1998, derivados del Proyecto Reanálisis (Kalnay et al., 1996), obtenidos aplicando las facilidades de programación que ofrece el GrADS (Doty, 1992) y el cálculo del ICA se efectuó con CIRC2002.EXE para cuatro subregiones del GC (Aroche et al., 2002).

La referida aplicación permitió: Identificar las peculiaridades circulatorias impuestas por las diferencias fisicogeográficas de sus subregiones, y su potencialidad para el diagnóstico y la predicción climatológicas, en particular de las precipitaciones, conocer que los índices subregionales de Katz .revelan por una parte la mayor variabilidad del transporte meridional con respecto al zonal, aspecto característico de la circulación general de la atmósfera, donde su mejor representación tiene lugar en las subregiones continental e insular y por otra parte las diferentes respuestas circulatorias de cada subregión manifestada de dos formas principales

Comportamiento opuesto de cada componente de la circulación según sea la capa troposférica baja o media y superior o entre cada par de subregiones Continental-Insular o Atlántica-Golfiana.

Mayor intensificación de la componente meridional con respecto a la zonal y de los Estes con relación a los Oestes en la troposfera baja de la Golfiana como ocurre en las subregiones Atlántica y Golfiana respectivamente.

INTRODUCCION

La predicción del tiempo y el clima, uno de los problemas más complejos en la Meteorología siempre ha estado fuertemente relacionada con el estudio de la Circulación General de la Atmósfera (CGA) y sus variaciones tanto espaciales como temporales. La tendencia hacia un enfoque objetivo de tales estudios conllevó a los científicos a la necesidad de elaborar criterios numéricos, que reflejaran las principales características de la circulación atmosférica macroescalar, a nivel hemisferio o de sectores geográficos extensos. Tales criterios se expresaron a través de los denominados Índices de Circulación de la Atmósfera (ICA).

La idea del uso de los ICA, definidos para determinar la intensidad de la circulación atmosférica en una banda o cinturón latitudinal específica alrededor del hemisferio, o en un sector de él, tiene su origen en los trabajos de Clayton (1923), citado por Walker (1924),

Rossby (1939), expresó numéricamente la intensidad de los vientos del Oeste en latitudes templadas sobre un hemisferio, como la diferencia de presión media existente entre las latitudes 35° y 55° N, o como el viento geostrofico correspondiente. Además Rossby encontró que dicho índice estaba relacionado con la forma de circulación general y particularmente con las posiciones longitudinales y extensión de los Grandes Centros de Acción de la atmósfera. .

Entre los más conocidos ICA, se encuentran los índices que representan las intensidades de las componentes zonales (Este-Oeste) y meridionales (Norte-Sur) en superficie o en cualquier nivel . de la atmósfera. De ellos los que más se han utilizado, tanto en la practica operativa de la predicción climática, como en las actividades de diagnostico, en la ex - Unión Soviética, fueron los . propuestos por Blinova E.H., (.1943) y Katz A., (1960).

El seguimiento de estos índices ha posibilitado advertir importantes características de los principales centros de acción, así como visualizar el desplazamiento hasta las latitudes bajas de las bandas troposféricas medias de los vientos máximos del Oeste, característicos de las regiones templadas, . la utilización de los términos de patrones de alto y bajo índice para describir el estado atmosférico al nivel del mar y de los patrones de circulación atmosféricos asociados con fuertes y débiles oestes

de latitudes medias, respectivamente. . la interacción entre la intensidad de la CGA y los gradientes de temperatura en la troposfera del sector Atlántico Europeo. Katz., (1960) . .

Lo referido anteriormente permite ilustrar cómo desde hace mucho tiempo la utilización de los ICA han jugado un importante rol en el esclarecimiento de las principales regularidades de la Circulación General de la Atmósfera (CGA) y en particular la de las latitudes medias. Sin embargo, la extensión de los ICA a investigaciones y servicios de la zona tropical y sus regiones ha encontrado dificultades tanto en lo teórico, lo práctico como en lo interpretativo. .

No obstante conocerse que las investigaciones, primero de Naranjo L, 1995 y luego de Aroche et al., 1999, Lapinel, Aroche y Rivero, 2002, Aroche y _Cutié, 2003 han enfrentado de manera novedosa y creadora las limitaciones referidas anteriormente, Todo lo cual ha permitido obtener un profundo y útil conocimiento , en cuanto a las características del entorno atmosférico de Cuba y su vinculación con procesos generadores e inhibidores de las precipitaciones, aún el tema no ha sido agotado y se requieren nuevas búsquedas y aplicaciones

OBJETIVOS

Obtener estimaciones cuantitativas sintetizadoras y representativas de la circulación troposférica sobre la región del Gran Caribe, utilizando presupuestos teóricos similares a los referidos anteriormente y en particular el ICA de Katz,

Caracterizar los principales intercambios subregionales de masas de aire, en correspondencia con las peculiaridades del GC, que además de ser una región relativamente pequeña, se encuentra ubicada en una zona de transición, donde confluyen interacciones entre fenómenos tropicales y extratropicales, interoceánicos y continentales, convectivos y advectivos; entre otros,

MATERIALES Y METODOS

El método de cálculo de los índice de circulación empleado fue el propuesto por A. L. Katz, citado por Zviérev (1977), de amplio uso internacional, (Borobiov, 1962; Gromova, 1962a; Gromova, 1962b y Pagasian, et al., 1965)., En calidad de índice de la intensidad de la circulación atmosférica Katz adoptó el flujo específico de masa de aire en una capa unitaria en la unidad de tiempo. La variación de dicho flujo en el

caso de un movimiento geostrófico y en condiciones de constancia en la fuerza de Coriolis, depende de la variación del gradiente medio de la presión atmosférica (o de las alturas geopotenciales) en la región seleccionada en la unidad de distancia. En consecuencia puede considerarse que los transportes zonales y meridionales, TZ y TM, son proporcionales a la magnitud del gradiente meridional o zonal, respectivamente. Katz., (1960).

..La región de estudio es la denominada Gran Caribe (GC), definida por La Convención de Cartagena como: “La región que incluye los estados de los litorales del Golfo de México, el Mar Caribe y las áreas del Océano Atlántico que se extienden al sur de los 30° N y hasta las 200 millas náuticas de aquellos estados”,(UNEP, 1999). Se seleccionaron cuatro subregiones y doce niveles de la troposfera, teniendo en cuenta las variaciones y características espacio-temporales de los principales sistemas isohípicos de la circulación atmosférica en la región de estudio, como de las características físico-geográficas de la misma. Los límites geográficos de las mismas se presentan en la Tabla 1

Tabla 1 Límites geográficos de las subregiones de cálculo.

REGIÓN SUBREGIONES	COORDENADAS .			
	SUPERIOR		INFERIOR	
TIPO	LAT.	LON.	LAT.	LON.
GENERAL	55	120	5	40
CONTINENTAL	50	110	30	70
INSULAR	30	90	10	50
GOLFIANA	35	100	5	80
ATLÁNTICA	50	80	20	60

El algoritmo de cálculo del índice de Katz, fue implementado en el programa CIRC2002, Las formulaciones de dicho algoritmo se describen el Anexo 4 de (Aroche et al., 2002)..

Los datos de alturas geopotenciales de 12 niveles de la tropósfera, entre los cuales figuran (1000, 925, 850, 700,

600, 500, 400, 300, 250, 200, 150 y 100 hPa), durante el período 1958_1998, dividido en dos subperíodos; 1958-1979 (P1) y 1977-1998 (P2), en la región denominada como general, cuyos límites se presentan en Tab. 1.1. . La obtención de series temporales para cada punto de dicha rejilla se realizó mediante el uso y utilitarios elaborados al efecto sobre la base del sistema “The Grid Analysis and Display System” (GrADS).

RESULTADOS.

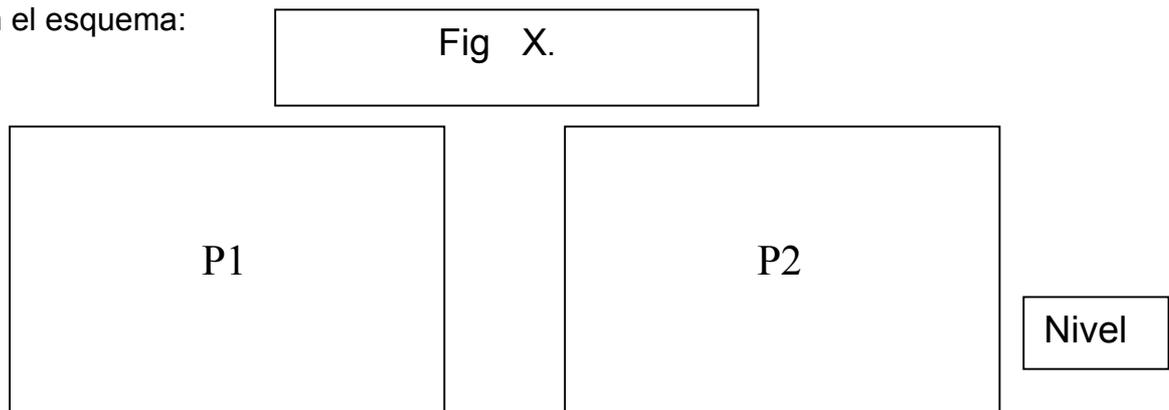
Los resultados de investigación a los efectos del presente artículo científico se presentan en cuatro figuras correspondientes a las subregiones de cálculo, las cuales constituyen paneles gráficos, en los que se representan las anomalías estandarizadas del Transporte Zonal (TZ, eje izquierdo) o Meridional (TM, eje derecho), para los niveles y subperíodos siguientes:

Niveles (hPa): 850 (1), 500 (2), 200 (3) y 100 (4)

Primer Período: 1958-1979 (P1). Gráfico de la izquierda

Segundo período: 1977-1998 (P2). Gráfico de la derecha

Según el esquema:



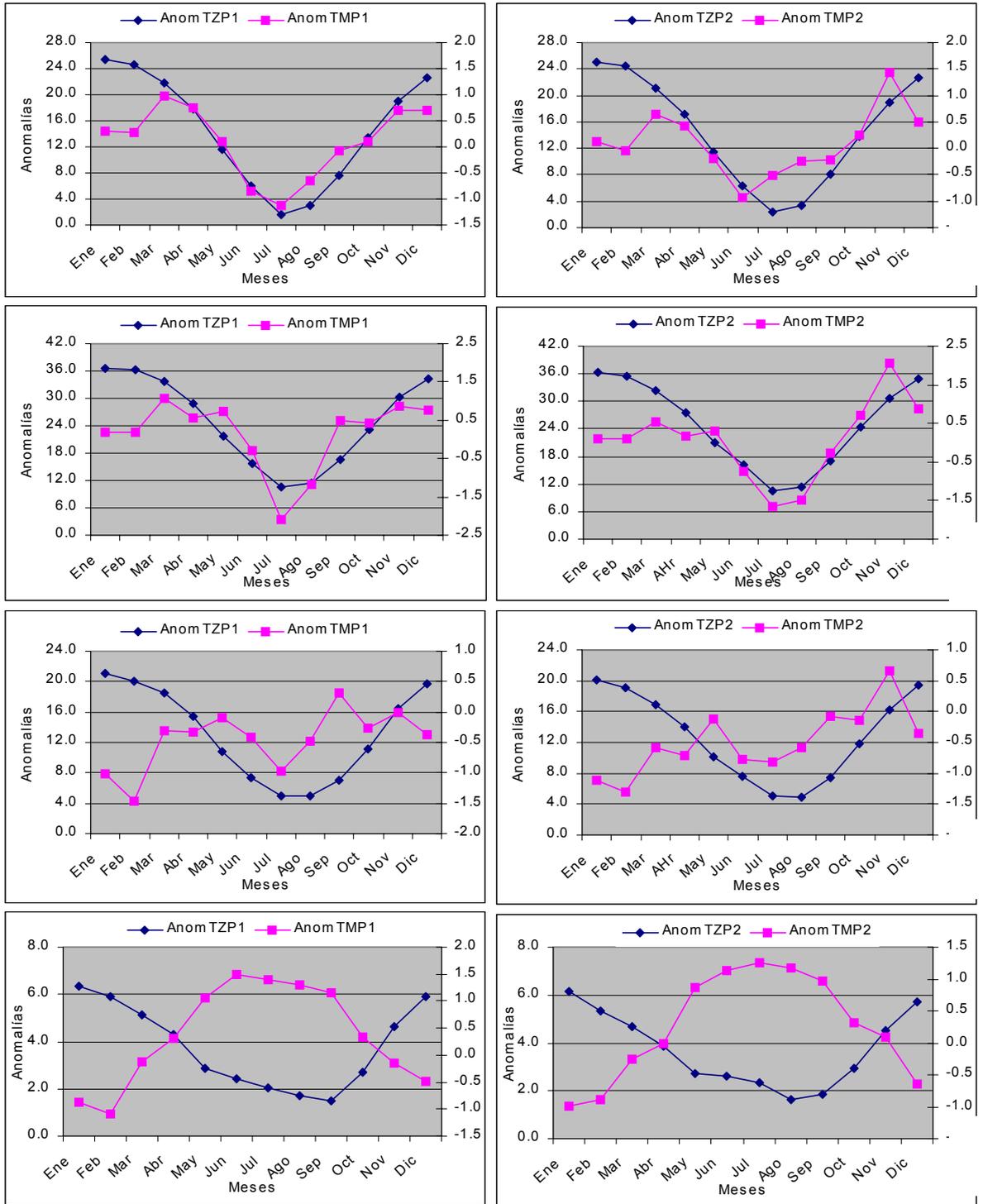
Caracterización de la circulación troposférica en diferentes subregiones .

SUBREGIÓN CONTINENTAL

En esta región el transporte zonal (y sus anomalías) es mucho más intenso que el meridional y en toda la troposfera es del oeste, con un curso anual unimodal que alcanza su máximo establemente en Enero, pero con un mínimo estival que se adelanta con la altura de septiembre a Julio. La intensidad del flujo zonal crece geométricamente hasta los 200 hPa .(Fig. 1).

El transporte meridional es más variable en la altura que el zonal y presenta un curso unimodal en la troposfera baja; pero bimodal en la media y superior. Ambos cursos, estacionalmente presentan de forma alternativa, flujos del norte y del sur. En el nivel de los 850 hPa, de abril a octubre el flujo es del sur y el resto del año del norte, períodos en los cuales ocurren sus respectivos valores extremos; en junio el máximo y el mínimo en febrero. El curso bimodal de los niveles superiores, se caracteriza por presentar un mínimo estable en el mes de julio, con transporte del norte y otro en enero o febrero adelantado con la altura y máximos en septiembre y mayo en la troposfera media y en marzo y noviembre en la superior. Es preciso señalar que los

Fig 1



máximos se diferencian muy poco entre si por su magnitud. Además muestran una intensificación de los nortes en el período diciembre -abril. Ello presupone la existencia de celdas verticales de circulación opuestas: una tipo Ferrel durante junio-

100

200

500

850

julio y otra tipo Hadley durante noviembre-diciembre, con el establecimiento de características monzónicas.

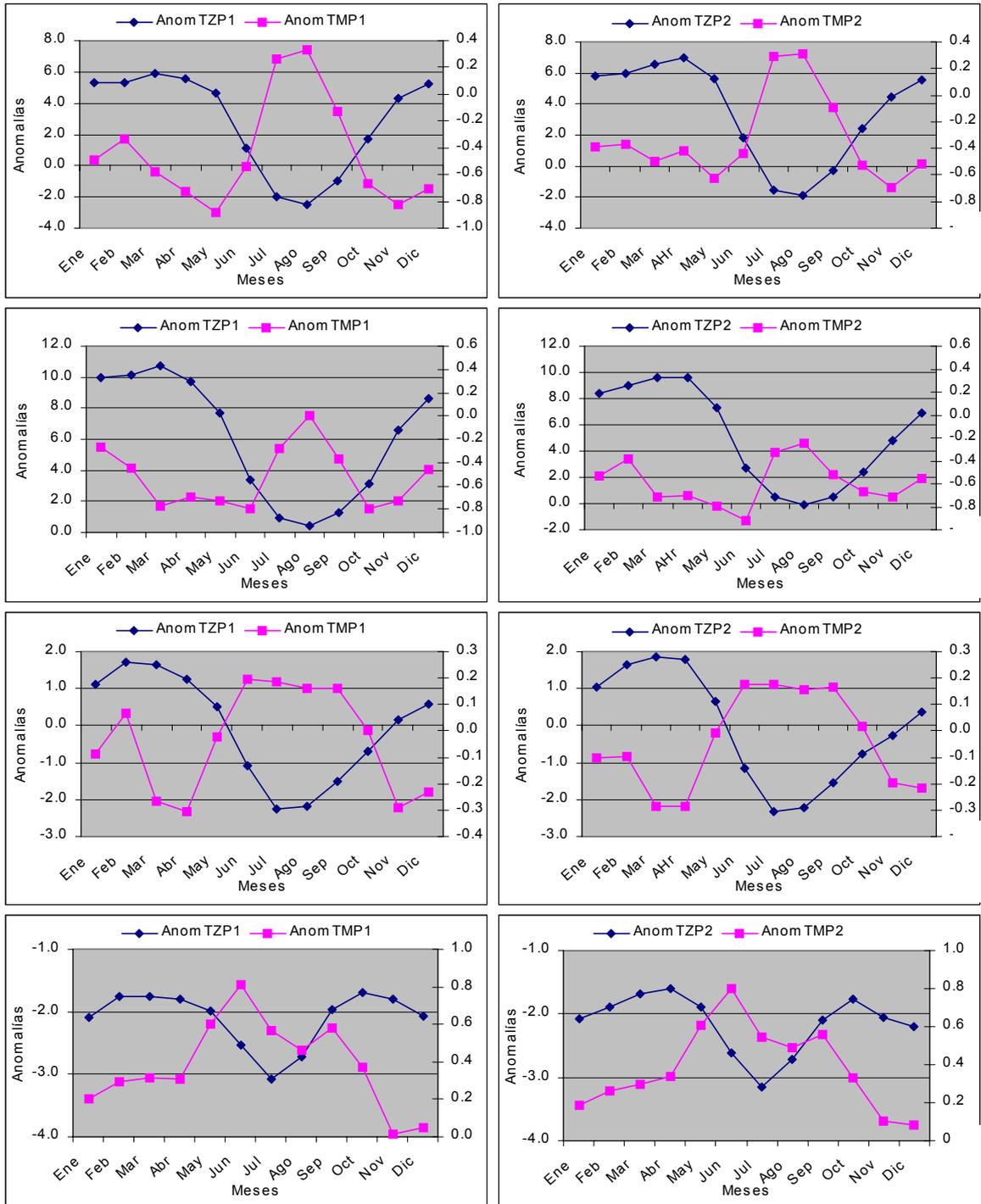
Al comparar las regularidades descritas, correspondientes a P1, notamos que durante P2 han ocurrido algunos cambios entre los cuales figuran: En la troposfera baja han disminuido los oestes en el período poco lluvioso (PPLL) y se han incrementado en el lluvioso (PLL), Se ha producido un corrimiento de un mes del período de los sures; es decir se produjo un atraso en su inicio, lo que conllevó a una extensión de los mismos hasta noviembre, así como el desplazamiento de su máximo hacia julio, En el nivel de 500 hPa no se experimentaron muchos cambios, excepto que los sures se incrementaron en noviembre, En 200 hPa, a pesar de notarse estabilidad en la magnitud y estacionalidad de las anomalías de los transportes ocurrió una ampliación intraestival de los nortes hacia junio y septiembre y un fortalecimiento de los sures durante el trimestre octubre-diciembre.

SUBREGIÓN INSULAR.

El transporte zonal sigue siendo predominante en magnitud con respecto al meridional (Fig. 2), pero no es de una sola dirección todo el año como tuvo lugar en la subregión continental, pero además no es monótona su distribución en la vertical, la cual ocurre como si existieran, dentro de la misma troposfera, pares de capas no contiguas con regímenes similares .Dicho transporte es bimodal en la troposfera baja pero en la media y la superior es unimodal. Mientras el meridional es bimodal en toda la troposfera. Sin embargo, si tenemos en cuenta la dirección del transporte, entonces los niveles 850 hPa y 200 hPa, se presentan con transportes opuestos. Por otra parte los niveles 500 hPa y 100 hPa son similares en las características del curso de ambos transportes, aunque las magnitudes sean superiores en el último. Es preciso señalar que en este par de niveles, se presentan cambios estacionales de la dirección de los transportes, como si no existiese el nivel de 200 hPa, en el cual ello no ocurre. Además la estacionalidad de estos transportes acopla adecuadamente con la correspondiente al régimen pluviométrico de Cuba. lo que pone de relieve el papel de las corrientes verticales convectivas profundas, implicadas en los mecanismos generadores de las precipitaciones en la subregión, en el acoplamiento de dichos niveles; corrientes que al encontrar la tropopausa, como capa estable, transfieren momentum a las horizontales, haciendo que estas

25.

Fig 2



100

200

500

850

últimas sean superiores en el nivel de 100 hPa, aunque parte de dicho impulso debe ser transferido a la estratosfera.

Los principales cambios multianuales tuvieron lugar en las capas medias y superiores, particularmente reflejados en el nivel de 200 hPa, donde a pesar de que la estacionalidad no se alteró sustancialmente, los transportes respondieron de

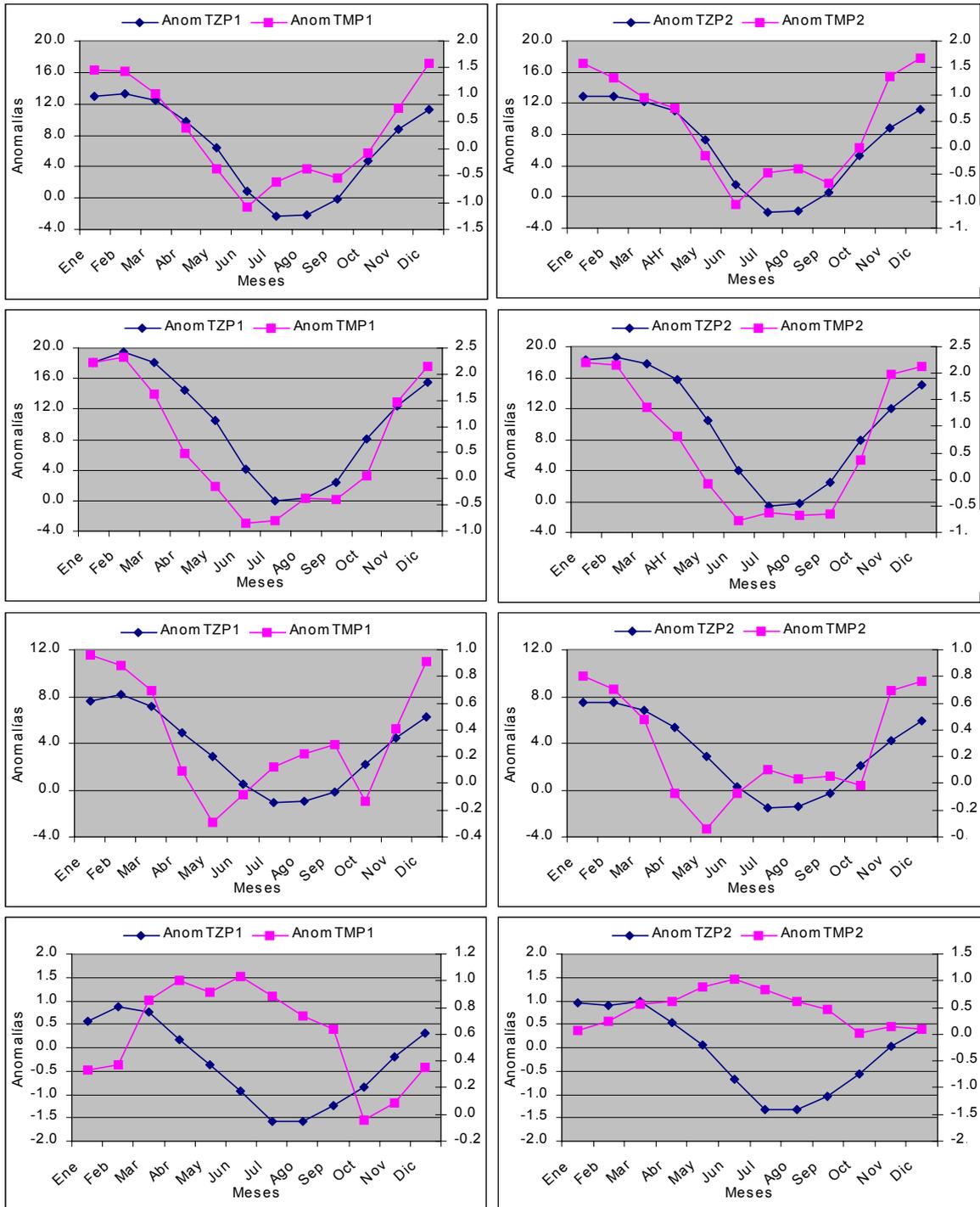
modo opuesto; los oestes se debilitaron durante todo el año, llegando a transformarse en estes en el mes de agosto, mientras los nortes se intensificaron, en los bimestres mayo-junio, agosto-septiembre y diciembre- enero. En consecuencia durante tales bimestres, se impusieron flujos del noreste, en la región insular. lo que es coherente con lo referido en Aroche et al., 2004, con relación a una mayor influencia durante P2, del Anticiclón Mejicano complejo (AM). Los niveles 500 y 100 hPa, también presentaron algunos cambios, entre los cuales sobresale el incremento de los oestes todo el año en 100 hPa y durante marzo-mayo en 500 hPa y debilitamiento de los estes en julio-agosto. Mientras el transporte meridional presentó poca o ninguna variación.

SUBREGIÓN GOLFIANA

En el transporte zonal de esta subregión sobresale el hecho consistente en que, al menos en la troposfera baja, el del Este llega a ser superior al de los Oestes, (Fig. 3). Además ocupan un período que se extiende de mayo a noviembre, dentro del cual presentan el mínimo absoluto en el bimestre julio-agosto, asociado con la máxima influencia del Anticiclón Azores-Bermudas (AA), que a la vez es el responsable de generar los fuertes sures que caracterizan a esta subregión de marzo a septiembre, con su . Cuña de Pata de Palmípedo (Aroche et al., 2004). En los niveles superiores esa alternancia estacional de Estes y Oestes, se mantiene, pero con la particularidad de que éstos últimos se fortalecen y los primeros no sólo se debilitan, sino que se circunscriben a los meses de julio-agosto, pues en dichos niveles el AM es el que pasa a determinar las características de la circulación en la Golfiana, junto a la VISBA, los cuales generan componentes del norte durante el periodo estival, lo que se hace extremo en 200 hPa y 100 hPa , con la intervención conjunta de la Vaguada Medio Oceánica (VMO), lo que en consecuencia permite que los Estes se regeneren de nuevo en el bimestre julio-agosto, que deben ser extremadamente secos y vincularse posiblemente con los procesos generadores de las conocidas sequías intraestivales del GC.

Durante el P2 se observó que en el nivel de los 850 hPa se produjo un fortalecimiento en los Oestes durante el PPLL y un debilitamiento de los Estes en el PLL, junto a una contracción temporal de los mismos de dos meses. El transporte meridional estuvo caracterizado por un debilitamiento de los sures durante el período agosto-abril. Sin embargo en los 200 hPa, no hubo corrimiento estacional ni en TZ ni

Fig 3



en TM pero en el primero se debilitaron los oestes en febrero-abril y en julio-agosto llegaron a convertirse en flujos del Este. El transporte del Sur se intensificó en el bimestre octubre-noviembre, así como en abril y el del Norte lo hizo durante agosto-septiembre. lo que corresponde a una ubicación más al NE del AM.

Con relación a la variación multianual de la circulación en esta subregión, sucedió que las capas bajas y altas de la troposfera respondieron de modo opuesto y de manera inversa a la Atlántica, lo que posiblemente contribuya a que las variaciones en los regímenes de diferentes variables meteorológicas no respondan de la misma manera según sean representativas del occidente o del oriente en el subsistema climático del GC que se analice.

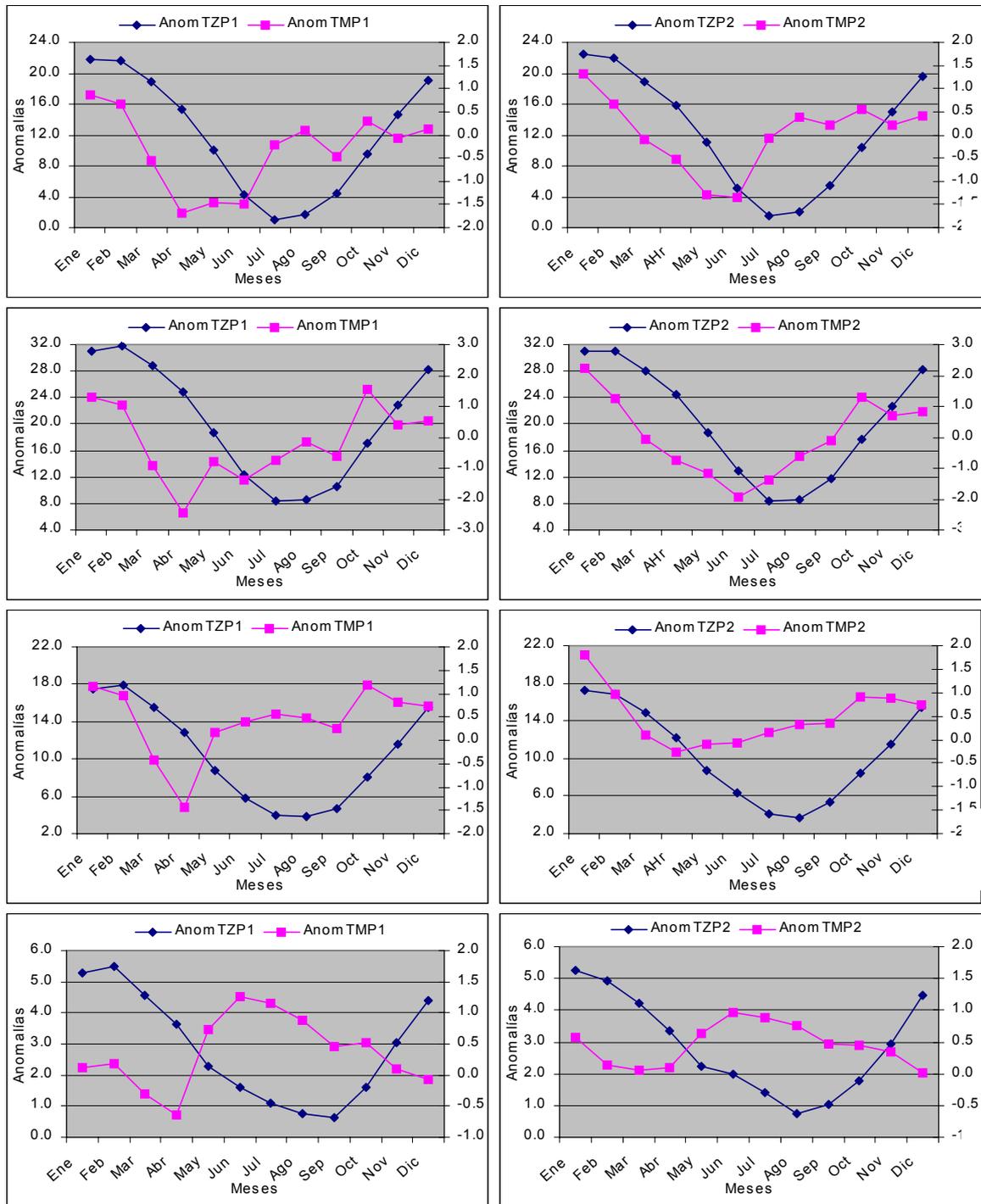
SUBREGIÓN ATLÁNTICA.

Esta subregión se caracteriza por presentar altos valores de anomalías de los índices de circulación, aunque ligeramente inferiores a los de la continental, siendo una subregión donde los transportes meridionales pueden llegar a ser superiores a los zonales, (Fig. 4). El transporte zonal (TZ) presenta unimodalidad en toda la troposfera, con un máximo en febrero en los tres niveles atmosféricos más bajos y en enero en los 100 hPa. Mientras el meridional es bimodal.

La variación anual de TZ es similar a la ocurrida en la subregión continental; un máximo de los oestes en febrero y un mínimo en septiembre, los cuales se adelantaron en la altura, para ocurrir en enero y julio en los 100 hPa, particularidad que debe de tener cierta utilidad predictiva. Con respecto a TM hay mayor variabilidad interestacional, pues en 850 hPa presenta un máximo principal en junio con transporte del sur y un mínimo principal en abril con transporte del norte, mientras los extremos secundarios, se presentan en febrero y diciembre respectivamente, pero ambos con flujos del sur; es decir mayo aparece como un mes de fuerte transición

Tiene lugar una inversión de los transportes en las capas bajas y altas de la troposfera, en particular reflejada en los niveles de 850 y 200 hPa, corroboran de nuevo lo referido en Aroche et al.,2004 , con respecto a la circulación de Hadley, pues la misma es generada por .el Anticiclón Subtropical del Atlántico Norte (AA), también conocido como “Azores-Bermudas”, un centro de acción cuasi permanente de circulación que domina en buena medida el tiempo y el clima en el sudeste de Norte América, el Gran Caribe, el oeste de Europa y el noroeste de África, cuyos cambios estacionales, se reflejan en modificaciones de su posición, estructura e intensidad, provocando sustanciales variaciones en los diferentes elementos del clima de las señaladas regiones y del archipiélago cubano, en particular.

Fig 4



100

200

500

850

En esta subregión el transporte es del norte sólo durante el bimestre marzo-abril en todos los niveles, excepto en 100 hPa donde se extiende hasta junio. Es de notar que si en todos los niveles el mínimo principal es en abril, esa estabilidad no la

presenta el máximo principal, el cual pasa a ocurrir en julio en los 500 hPa, en octubre en los 200 hPa y en enero en los 100 hPa.

Durante . P2 . el período de transportes meridionales del Norte se corrió hacia el verano hasta agosto, ubicando su máximo en los bimestres mayo-junio. Mientras el transporte zonal, manteniendo su estacionalidad, incrementó sus Oestes en junio y septiembre, disminuyéndolos durante febrero y marzo. Esta situación refleja el desplazamiento hacia el este y giro anticiclónico de la VMO, descrito en Aroche et al., 2003. Además en los 850 hPa se incrementaron los transportes del Sur durante el PPLL y se debilitaron en el PLL, muy en correspondencia con la posición e influencia mutua del sistema binario anticiclónico AM-AB.

CONCLUSIONES.

La aplicación que nos ocupa permitió: Identificar las peculiaridades circulatorias impuestas por las diferencias fisicogeográficas de sus subregiones, y su potencialidad para el diagnóstico y la predicción climatológicas, en particular de las precipitaciones, conocer que los índices subregionales de Katz .revelan por una parte la mayor variabilidad del transporte meridional con respecto al zonal, aspecto característico de la circulación general de la atmósfera, donde su mejor representación tiene lugar en las subregiones continental e insular y por otra parte las diferentes respuestas circulatorias de cada subregión manifestada de dos formas principales

Comportamiento opuesto de cada componente de la circulación según sea la capa troposférica baja o media y superior o entre cada par de subregiones Continental-Insular o Atlántica-Golfiana.

Mayor intensificación de la componente meridional con respecto a la zonal y de los Estes con relación a los Oestes en la troposfera baja de la Golfiana como ocurre en las subregiones Atlántica y Golfiana respectivamente.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Aroche, R., Cutié V., (2003): Los transportes troposféricos de masa y su asociación con la ocurrencia de anomalías pluviométricas extremas en cuba.. X congreso latinoamericano e íberico de meteorología. II congreso cubano de meteorología. Ciudad de La Habana. ISSBN 959-270-014-1

Aroche, R., Masó N., Fernández N., Lapinel B., Naranjo L., Centella A., Fonseca C.,Varela, N., Pomares I., Cutié V., y Gimeno Y., (2002a): Monografía: Variabilidad multianual de los campos de circulación sobre el Gran Caribe y sus repercusiones sobre el régimen pluviométrico en Cuba.. Programa Ramal de Investigación del INSMET, Proyecto49 201 204. ICT, 80 pp.

Aroche, R., Varela, N., Lapinel, B., Pérez, I. y Hernández, I., (1999): Subsistema para el cálculo de Indices de Circulación de Katza en las variantes de las intersecciones o de rejillas de la información barométrica de cualquier región o nivel de la atmósfera. ICT.Proyecto 013 01 017. Programa Nacional de Cambios Globales.

Aroche, R.,Varela N. y Pomares I., (2002b): Circ2002, un nuevo software para el cálculo del Indice de Circulación de Katz. Programa Ramal de Investigación del INSMET,Proyecto 49 201 204. ICT (inédito).

Blinova E.H., (1943): Teoría hidrodinámica de las ondas de presión, ondas térmicas y centros de acción de la atmósfera. DAH de la URSS Tomo 39 Vol. 7.

Borobiov E.B. (1962): Procesos atmosféricos acoplados en el Hemisferio Norte. Editorial Hidrometeorológica de Leningrado p 116.

Doty E. B., (1992): Using the Grid Analysis and Display System (GrADS). COLA. Calverton. MD.USA 97 pp.

Gromova G.G. (1962a): Característica de los procesos zonales y meridionales en la Siberia Oriental y partes aledañas del Océano Pacifico. Trabajos del Instituto Central de Pronósticos Vol. 19 pp 104-112.

- Gromova G.G., (1962b):** Particularidades de la circulación atmosférica sobre Siberia Oriental y partes aledañas del Océano Pacífico. Meteorología e Hidrología Vol. 6 pp 28-32.
- Kalnay, E y otros, (1996):** The NCEP/NCAR 40 year Reanalysis Project. Bulletin of the American Met. Soc. 77 No. 3 pag. 437-471.
- Katz A.L., (1960):** Cambios estacionales de la circulación de la atmósfera y el pronóstico a largo plazo. Editorial hidrometeorológica del Leningrado p 270.
- Lapinel B., Aroche R., Sardinias M. y Varela N., (1998):** Los índices de circulación y su relación con los procesos de sequía. Informe Técnico. 20 pp.
- Lapinel, B., Aroche R., Rivero R. y otros , 1999:** Caracterización de factores circulatorios, hídricos y energéticos asociados al comportamiento anómalo del régimen de lluvias en Cuba. Informe Científico Técnico, Instituto de Meteorología, Cuba. 121 pág.
- Naranjo L.R. (1995):** Uso de los Índices de Circulación para la caracterización de las condiciones atmosféricas en las inmediaciones de Cuba, Reporte de Investigación Grupo Nacional de Pronóstico a largo plazo, INSMET, CITMA, 50 pp.
- Newell E., Kidson, John W., Vincent Dayton G . Boer George J (1972):** Circulación general de la atmósfera tropical. Interacciones con las latitudes Extratropicales. The MIT Press. Vol.1, 258 pp.
- Pagasian X.P., Pablovskaya A.A., Shabielnikova M.B. (1965):** Interacción de los procesos troposféricos y estratosféricos del hemisferio norte. Editorial Hidrometeorológica de Leningrado p 129.
- Riehl, M., (1954):** Tropical Meteorology. Mc Graw-Mill, 392 pp..
- Walker, G.T. (1924):** Correlation in seasonal variations of weather, IX: a further study of world weather. Mem. Indian Meteor. Dept., 24, 275-332.
- Zvieriev (1977):** Meteorología Sinóptica Editorial Hidrometeorológica de Leningrado (en ruso) 712 pp.

