

VALORACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LA CIRCULACIÓN OCEÁNICA Y EL APORTE DE LOS RÍOS SUDAMERICANOS A LA ACTIVIDAD CICLÓNICA, A PARTIR DE RE-ANÁLISIS HYCOM.

Ida Mitrani Arenal, Javier Cabrales Infante, Yoandy Alonso Díaz

Instituto de Meteorología, Loma de Casablanca, Apdo. 17032, cp 11700, La Habana, Cuba,
ida.mitrani@insmet.cu,javier.cabrales@insmet.cu,yoandy.alonso@insmet.cu

RESUMEN

Se presenta un análisis de la circulación oceánica en el área atlántica y caribeña (de 5 a 25°N y de 45 a 95°W), mediante el uso del modelo HYCOM, tomando como estudio de caso, las temporadas ciclónicas muy activa de 2005, poco activa de 2009 e intermedia de 2013. Se analizan las variables principales (temperatura, salinidad y componentes de las corrientes), a partir de los re-análisis de entrada en HYCOM, libremente disponibles, desde superficie hasta 1500 m. Se describe la distribución espacio-temporal de las variables y sus peculiaridades, con especial atención a la presencia de torbellinos ciclónicos y anticiclónicos. Se aprecia que las particularidades de la circulación de las aguas y el comportamiento de la estructura termohalina, está en correspondencia con la alternancia de anomalías positivas y negativas de las descargas desde la cuenca amazónica hacia el norte de Atlántico Central Tropical, lo cual depende de su régimen de lluvia, fundamentalmente en la zona central de la cuenca; una situación semejante también se observa en los aportes del Orinoco hacia el Caribe. Los resultados muestran que las particularidades de la circulación en esta área, de conjunto con la estructura termohalina, influyeron de forma notable en el comportamiento de las temporadas ciclónicas analizadas, por lo que se recomienda incluir en los pronósticos de temporada la valoración de las salidas de modelos oceánicos, atendiendo no solo a la temperatura superficial, sino también al espesor de las aguas cálidas, la salinidad y al comportamiento de los torbellinos.

ABSTRACT

An analysis of the oceanic circulation on the Caribbean and Tropical North Atlantic areas (5-25 °N and 45-95 °W) is presented, using the HYCOM model re-analysis inputs and taking as study cases, the tropical cyclone seasons of 2005 (very active), 2009 (weak) and 2013 (medium). The behavior of the principal oceanographic variables (water temperature, salinity and streams) is analyzed, from the surface to the 1500 m depth. The time-space evolution and peculiarities of those variables are described, with special attention to presence of the cyclonic and anti-cyclonic eddies inside the Caribbean Sea. It is observed that the water circulation and the thermohaline structure behavior are in correspondence with the fresh water discharges from the Amazonian Basin and, in least measure, from the Orinoco ones, principally depending of the rainfall regimes over the central zone of the Amazonian Basin. The obtained results show that the activity of the analyzed cyclonic seasons were intense affected by the surface thermohaline circulation, so it is recommended that this fact will take into account to make the habitual forecast of the tropical cyclone season.

INTRODUCCIÓN

La presente investigación se desarrolló en el marco del PCTI “Meteorología y Desarrollo Sostenible del País”, dentro del proyecto de Investigación Científica “Modelación numérica de la circulación en los mares adyacentes a Cuba, tomando en cuenta la influencia de los ríos sudamericanos y su posible enlace con la actividad ciclónica a mediano y largo plazo”. El colectivo de autores pertenece al Centro de Física de la Atmósfera, al Centro de Pronósticos y al Centro Provincial de Holguín, del Instituto de Meteorología.

Se presentan como principales antecedentes nacionales, la ejecución de cinco proyectos ejecutados en el INSMET desde finales del siglo XX hasta el presente, cuyos principales resultados fueron reflejados en el libro de Mitrani et al. (2017). Por otra parte, existe la obra de Ballester (2009), acerca del pronóstico de temporada de ciclones tropicales, donde como uno de los principales predictores, figura la temperatura del mar en el Atlántico Tropical Central.

En el plano internacional, algunos autores han abordado el rol regulador de la Amazonía en la estructura termohalina del Atlántico Central y cómo a su vez, la estructura termohalina regula a la temporada ciclónica en esa área (Nobre et al. 1991, Carton et al. 1997, Souza et al. 2000, Anthes 2006, Rueda et al. 2010, Hounsou-gbo et al. 2015, Rudzin et al. 2019)

Será de gran utilidad para la nación cubana, la profundización en los conocimientos acerca del comportamiento de la circulación oceánica en los mares inter-americanos y su gran influencia en el desarrollo de los ciclones tropicales, que generan inundaciones costeras en el territorio nacional, así como el mejoramiento de la calidad de los medios disponibles para su simulación y pronóstico.

Por tales razones, se define el siguiente OBJETIVO GENERAL:

Establecer, mediante representación numérica, las características de la circulación y estructura termohalina de las aguas adyacentes a Cuba y el Caribe, bajo la influencia de los aportes de los ríos sudamericanos y su posible enlace con la actividad ciclónica a mediano plazo.

De este objetivo general se derivaron los OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

1. A partir de re-análisis numéricos con el modelo oceánico HYCOM, analizar tres años de temporadas ciclónicas de diferente actividad, para comparar diferencias entre la circulación oceánica y la estructura termohalina en cada caso.
2. Analizar la evolución anual y la distribución espacial de la circulación oceánica desde el Atlántico Central hacia el área caribeña, así como su comportamiento desde superficie hasta las aguas profundas.
3. Valorar la influencia del aporte de los ríos sudamericanos al Caribe y al Atlántico Central, en la evolución de las temporadas ciclónicas

1.MATERIALES Y MÉTODOS

Para analizar la circulación oceánica y la estructura termohalina desde la zona tropical central del Atlántico hasta los mares adyacentes a Cuba, se dispone de las siguientes fuentes de información:

- A) Batimetría y configuración de la línea costera a partir del Atlas GEBCO (2009), con una resolución de 900 m, lo cual permitió determinar las fronteras entre aguas profundas y costeras. El área de interés está comprendida entre 5 y 25 °N, y entre 40 y 95 °W
- B) Mapas de medias climáticas de la temperatura superficial desde 1971 hasta 2000 y anomalías anuales, calculadas sobre estos valores promedio, de los archivos de NHC (2019)

- C) Re-análisis del modelo numérico oceánico HYCOM, que permite representar las características oceanográficas en áreas de interés.
- D) Descripción geográfica y particularidades locales del clima, desde diversas fuentes bibliográficas.
- E) Información acerca de las temporadas ciclónicas de 2005, 2009, y 2013, de los archivos del INSMET y del National Hurricane Center, libremente disponibles, de donde se aprecia que fueron una temporada muy activa, una poco activa y una intermedia, que según Ballester y Rubiera (2014) debió ser más activa.
- F) Base de datos oceanográficos del Atlas Oceanográfico de Mitrani et al. (2008), que contiene datos del período 1996-2000, acerca de la temperatura, la salinidad y la densidad del agua de mar, desde superficie hasta 1000 m de profundidad, así como el análisis de las corrientes termohalinas en el entorno cubano, realizado por especialistas de la empresa GEOCUBA (aparece en Mitrani et al 2017).
- G) Manejo de lenguajes computacionales sobre sistema LINUX libremente disponibles, para el análisis de las variables oceanográficas estudiadas y presentación gráfica de su distribución espacial, como son FORTRAN, GRADS y NCVIEW. El software NCVIEW permitió ver la continuidad de todas las imágenes de los campos, nivel por nivel, con lo que se pudo apreciar la evolución espacio-temporal de cada variable, mientras que con GRADS se elaboraron las figuras individuales que reflejan los detalles de interés de los campos.

2 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De la representación numérica de los campos de circulación superficial, temperatura y salinidad en los re-análisis de entrada del modelo HYCOM, se confirma que las descargas del Amazonas y del Orinoco pueden influir notablemente en el estado de la superficie marina del Atlántico Central Tropical y del Caribe respectivamente, modificando la distribución de estas variables, lo cual influye a su vez en el comportamiento de las temporadas ciclónicas y de los ciclones tropicales en particular. Se observa un sistema de circulación en el Caribe, delimitado por dos torbellinos anticiclónicos desde la desembocadura del Amazonas hasta el Canal de Yucatán; en el área oriental del Caribe, la descarga del Orinoco a su vez modula a la estructura termohalina, pero a escala más local.

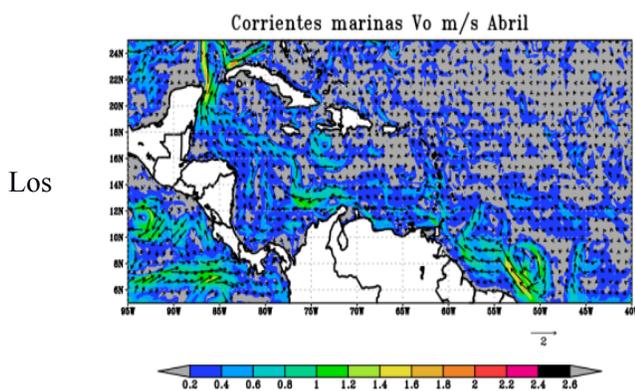


Figura 2.1 La circulación superficial el 1 de abril de 2005.

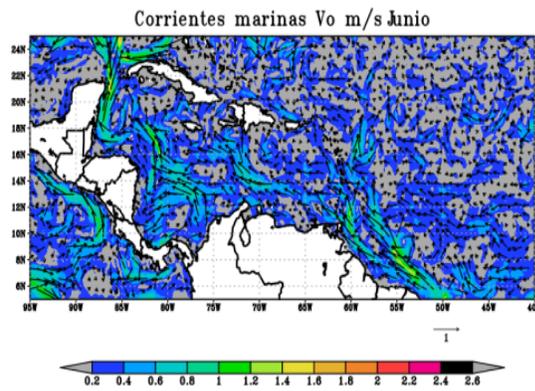


Figura 2.2 La circulación superficial el 1 de junio de 200.

análisis HYCOM muestran que el torbellino anticiclónico, conformado sobre el área de divergencia de las frías Corrientes Ecuatoriales con el arribo de las aguas más cálidas del Amazonas (CEA), atrapa las aguas de baja salinidad pero relativamente cálidas al mezclarse ambos flujos, las cuales flotan hacia el Atlántico Central Tropical (ATC) al ser menos densas que el entorno; el torbellino CEA puede ser más extendido incluso hasta los 14°N, o contraído sobre todo en dependencia de la descarga del Amazonas (Figura 2.2). Debido a esta circulación y la mezcla con estas corrientes, se conforma una masa de agua que se hunde en el área de ATC, por debajo de la masa del Atlántico Norte, pero se transporta hacia el noroeste y es de esta forma que alcanzan a las aguas cubanas. La frontera entre ambas masas, se aprecia en los perfiles verticales, donde el máximo de salinidad se localiza entre los 150 y 250 m de profundidad, por debajo de las aguas superficiales. Por otra parte,

el torbellino de la Corriente de Lazo (CL), al otro extremo del sistema CEA-Caribe-CL atrapa las aguas cálidas superficiales y contribuye a la profundización de la capa isotérmica, favorable a la intensificación de los ciclones tropicales. Ambos giros, CEA y CL, aún se observa con nitidez en los 1000 m de profundidad y presentan las máximas velocidades de la corriente hacia el occidente de cada torbellino, frecuentemente por encima de los 0.4 m/s (Figura 2.3 a). Ya en los 1500 m, aparece el transporte contrario, de compensación (Figura 2.3 b)

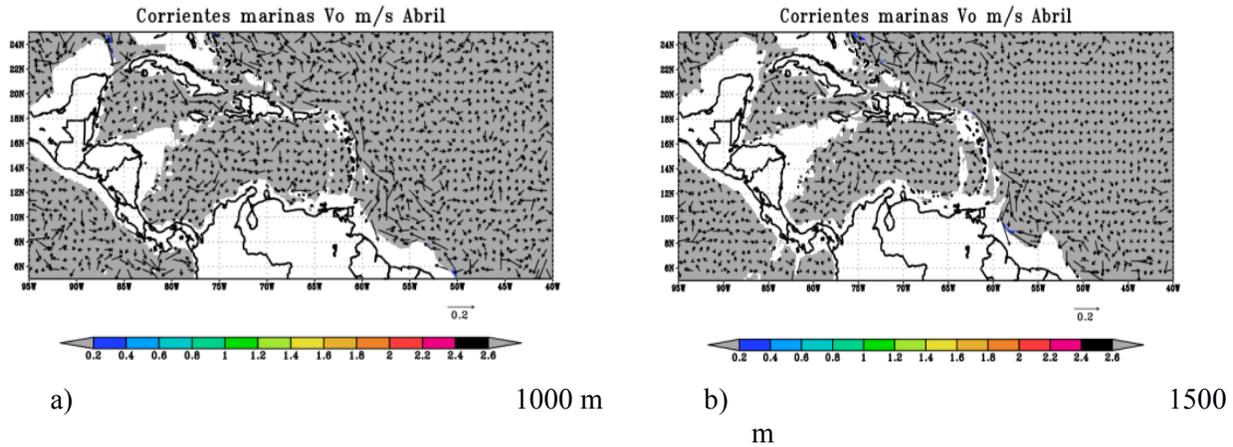
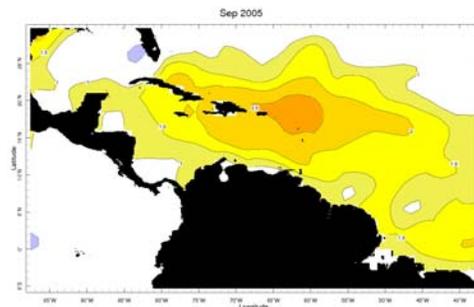
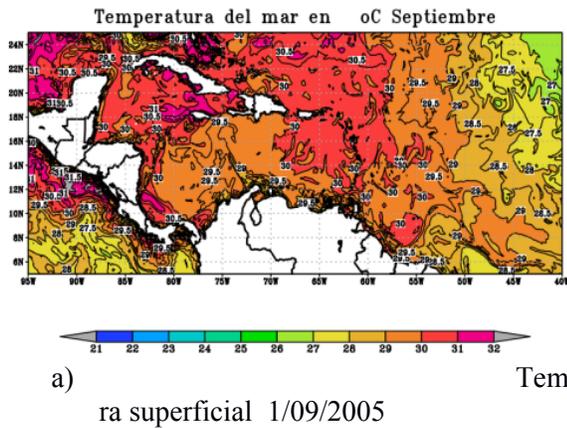


Figura 2.3 La circulación en aguas profundas. Imágenes del 1 de abril de 2005

El río Orinoco aporta sus aguas relativamente cálidas pero de baja salinidad hacia el área oriental del Caribe, pudiendo alcanzar las cercanías de Puerto Rico. Se combina con los torbellinos que se forman en el Caribe y cuando esto ocurre con los giros ciclónicos, se resfuera la existencia de las áreas de aguas frías al combinarse con las emergidas. Sin embargo, no siempre estas áreas son de debilitamiento de ciclones tropicales, porque las aguas continúan con temperaturas por encima de los 26,5°C, según confirma Rudzin et al (2019). Esta situación oferta cierta independencia en los cambios de las aguas caribeñas con respecto a las oceánicas.

El año **2005** fue un año de altísima actividad ciclónica, que Ballester y Rubiera (2006) atribuyen a las altas temperaturas oceánicas (Figura 3.4a) con altas anomalías (Figura 3.4b) y la inhibición de ENOS en el primer bimestre del año, con aparición de patrones de circulación de La NIÑA, sostenidos en meses posteriores. Se registra baja descarga de los ríos sudamericanos principalmente en el primer trimestre, al ocurrir un gran déficit de lluvia en el sudeste y sur de la cuenca amazónica, sobre la cuenca de los principales afluentes que vierten hacia el Amazonas (Solimoes, Madeira, Negro y otros), que según Marengo et al (2008), es coincidente con la inhibición del evento ENOS en los primeros meses de 2005 y arribo del evento LA NIÑA hasta mediados del 2005, así como con altas temperaturas del ATC y en general hacia el Atlántico Norte, mostrándose un contraste de más de 1,4°C entre el norte y el sur de ATC. En los re-análisis HYCOM, se observa retraído el torbellino anticiclónico de área CEA (Figura 3,5 a), de modo que si bien la salinidad se mantiene alta en los primeros meses del año, después de la estación lluviosa del hemisferio norte se observa relativamente disminuída (Figura 3,5 b), pero no lo suficiente como para afectar a la capacidad de calor del océano sobrecalentado, con anomalías de más de 2°C.



b) Anomalías superficiales 09/2009 (NHC,2019)

Figura 3.4 Estado térmico de la superficie marina en 2005

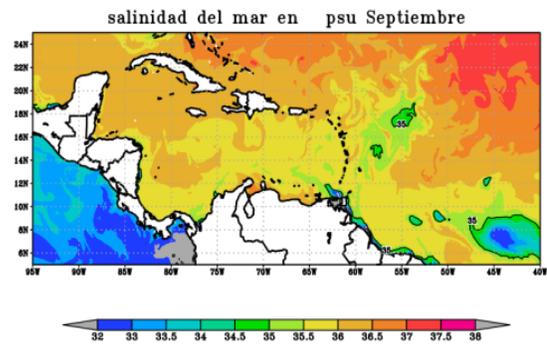
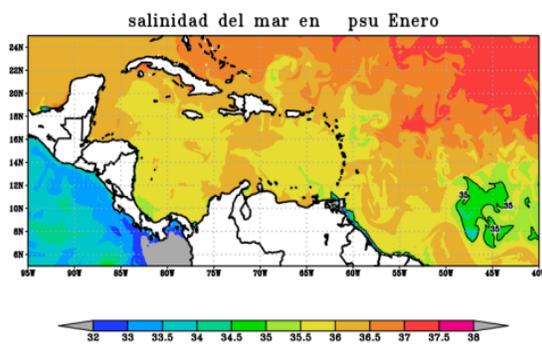
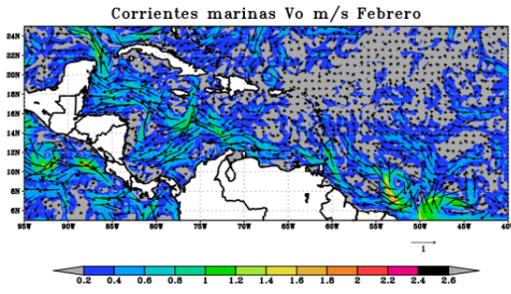
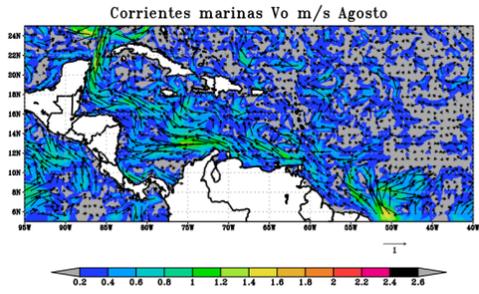


Figura 3.5 Salinidad superficial en 2005

El **2009** fue una temporada de muy baja actividad ciclónica; Ballester y Rubiera (2010) atribuyen esta situación a la aparición paulatina de patrones ENOS entre mayo y junio de ese año. Por otra parte, Sena et al. (2012) explica que este en un exceso extremo de lluvia al sur y sudeste de la cuenca amazónica, principalmente sobre los afluentes más potentes (Slimoes, Madeira, Negro y otros), debido a la presencia del evento LA NIÑA desde mediados del 2008, hasta bien entrado el 2009, en combinación con un desplazamiento de la ITC más al sur de lo habitual y altas TSS al sur del ATC, combinación que favorece al flujo zonal de aire húmedo hacia el continente. En los re-análisis HYCOM se aprecia como particularidad una aceleración del transporte superficial de masa de agua hacia el Caribe durante casi todo el año, con presencia local de torbellinos ciclónicos y por tanto de afloramientos de agua relativamente fría (Figura 3,6 a, b); un exceso de lluvia en la cuenca amazónica, con una gran descarga hacia el océano, condujo a que la TSS se comportase igual o por debajo de la norma en el área de estudio, principalmente en el primer cuatrimestre (Figuras 3,7 a). También los mapas de anomalías superficiales Atss (Figura 3,7 b), muestran las TSS mayormente iguales a la norma en el área de estudio. De igual modo, en esos meses se observa una disminución de la salinidad superficial (SS) en el área caribeña y hacia el sur del Atlántico Tropical en las cercanías de Sudamérica, que inhibió la acumulación de calor en el agua de mar (Figura 3,8 a).

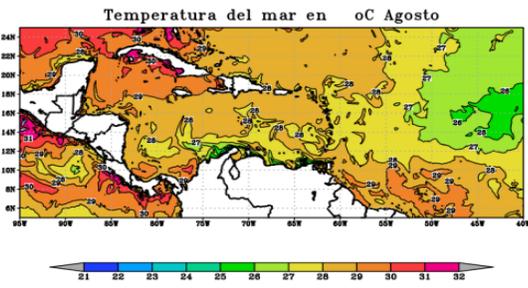


a) Las corrientes superficiales en 1/02/2009

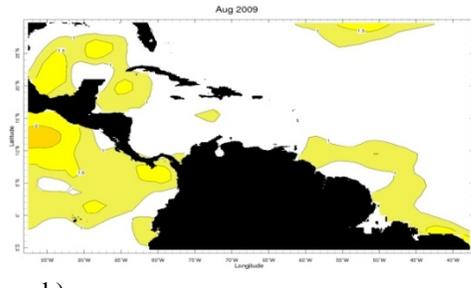


b) Las corrientes superficiales en 1/08/2009

Figura 3.6 Circulación de las aguas en 20/09, en invierno y verano del hemisferio norte

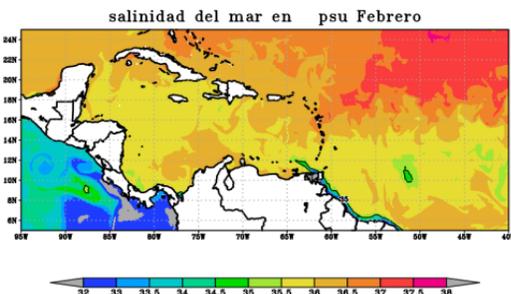


a) Temperatura superficial en 1/08/2009

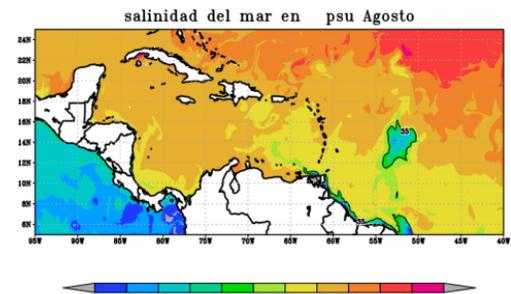


b) Animalías en 08/2009, NHC (2019)

Figura 3.7 Temperatura superficial y anomalías en agosto de 2009



a) Salinidad superficial en 1/02/2009



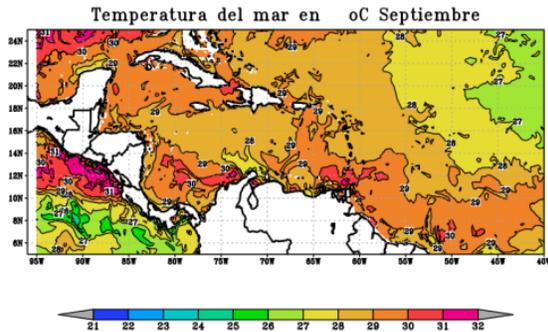
b) Salinidad superficial en 1/08/2009

Figura 3.8 Salinidad superficial en invierno y verano de 2009

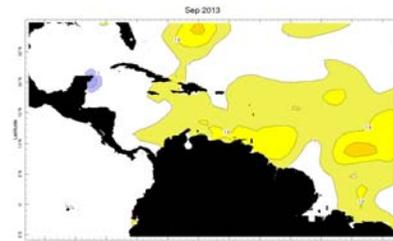
Al comenzar la estación de las lluvias en el hemisferio norte, la SS se observa disminuida en los meses de mayo a diciembre durante el 2009 (aunque más alta que en 2005), en áreas del Caribe y Atlántico Tropical (cercano a Sur-América) que en el área de CEA (Figura 3,8 b). El torbellino CEA se aprecia mejor organizado y más extendido en 2009, sobre todo a partir de junio, de manera que el sumidero de aguas locales y mezcla con aguas del Atlántico es más potente, así como su traslado a lo largo del arco de las Antillas, y por tal motivo, en los primeros meses se observa que la SS en el área caribeña es más baja en el 2009 que en el 2005 ; el segundo semestre muestra a SS más alta en el Caribe que en el 2005, no así en el Atlántico donde el transporte a lo largo del arco de las Antillas y hacia el norte, genera una notable disminución de la salinidad en esta área, que a partir de agosto se propaga hacia el entorno vecino.

En 2013, las TSS del Atlántico Norte se mantuvieron mayormente por encima de la norma (Figuras 3.9 a,b). No hubo presencia de ENOS, cuyos patrones inhiben a la actividad ciclónica, según la bibliografía consultada, sino patrones del evento LA NIÑA, que debieron favorecer a la formación y desarrollo de los ciclones ropicales y sin embargo, fue menos activa de lo que se esperaba, según estos indicadores (Ballester y Rubiera, 2014). Del re-análisis HYCOM de los campos de salinidad (Figuras 3.10 a, b), los autores del presente texto notaron valores

muy bajos en gran parte del área y gran parte del año, lo cual suele ocurrir cuando se presentan excesivas descargas desde el Amazonas, que se desplaza con mayor intensidad hacia el Caribe, cuando se fortalece el transporte zonal oceánico (Figura 3.11 a,b) a la par que el atmosférico. En este caso particular, no fue suficiente la inhibición de los patrones ENOS, ni las altas TSS. La baja salinidad se debe al exceso de lluvia sobre los grandes afluentes de la Amazonía en los años 2012-2015; se observó un exceso de lluvia sobre la cuenca amazónica, según refiere Silva et al. (2018), y se atribuye a las mismas causas del evento excesivo de 2009, es decir, la combinación de LA NIÑA con altas TSS al sur del ATC y reforzamiento del flujo zonal atmosférico, en combinación con desplazamiento excesivo de la ITC hacia el sur.

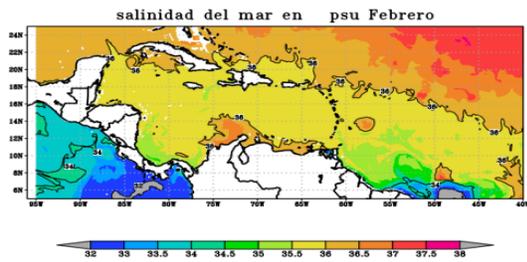


a) Temperatura del agua en 1/09/2013

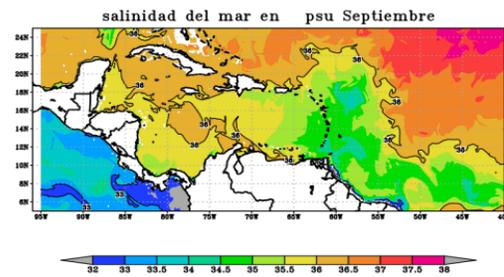


b) Anomalías en 09/2013, NHC(2019)

Figura 3.9 Temperatura superficial y anomalías en 2013

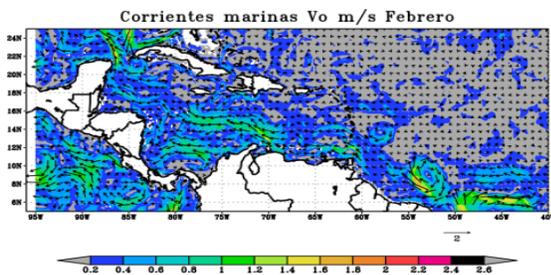


a) Salinidad superficial en 1/02/2013

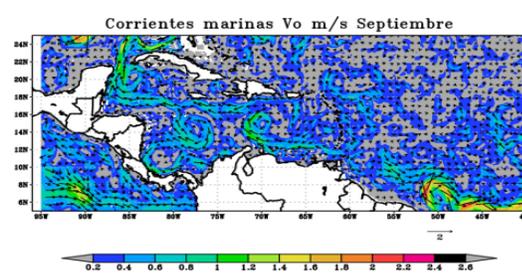


c) Salinidad superficial en 1/09/2013

Figura 3.10 Salinidad superficial en invierno y verano de 2013



a) Corrientes superficiales en 1/02/2013



b) Corrientes superficiales en 01/09/2013

Figura 3.11 Circulación superficial en invierno y verano de 2013

Las temporadas ciclónicas de 2005, 2009 y 2013, mostraron una gran dependencia de las descargas del Amazonas hacia el Atlántico, siendo el 2005 de gran actividad ciclónica, marcado por un intenso episodio de

sequía sobre los afluentes más importantes de la cuenca amazónica, mientras los otros dos años fueron de exceso de lluvia sobre la propia área, siendo el 2009 de muy baja actividad ciclónica en coincidencia con mayor volumen de descarga del Amazonas y el 2013, de menor actividad que la esperada, al ser la descarga amazónica menor que en el 2009. Los excesos de lluvia generan baja salinidad, siendo muy notable en 2013 cuando a pesar de altas TSS, la baja salinidad disminuyó la capacidad calórica de la superficie. Como dato importante, es preciso señalar que los tres episodios (una estación de sequía excesiva y dos de lluvia intensa sobre la Amazonía), ocurrieron bajo la influencia del evento LA NIÑA, pero en combinación con diversos comportamientos de TSS al sur de ATC, modulados por la migración de la ITC.

De la bibliografía consultada, se estableció que la combinación NIÑO-altas TSS en el sur del ATC, favorece al transporte meridional, lo cual puede generar episodios de sequía sobre los grandes ríos que vierten en el Amazonas, según atestigua Marengo et al (2008) acerca de los años 1926, 1983 y 1998. Mitrani et al (2017) que ha habido años ENOS de altas temperaturas oceánicas y considerables espesores de la capa isotérmica, aunque no de gran actividad ciclónica y esto se debe a lo planteado por Ballester et al (2009) de que en este caso los patrones atmosféricos no son favorables. Por otra parte, la combinación de bajas TSS en la misma área, con ENOS, favorecen anomalías positivas de lluvia en el área central del Amazonas, incluso sobre áreas de los ríos Solimoes, Madeira y Negro, lo cual favorece la descarga hacia el Atlántico (Ronchail et al 2005). Sin embargo, LA NIÑA con altas TSS en esa área, favorece el exceso de lluvia y la circulación zonal, con exceso de lluvia y gran descarga hacia el Atlántico y viceversa.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

-Las diferencias entre la circulación oceánica y la estructura termohalina de cada año sobre el Atlántico occidental y el Caribe, son muy dependientes de las descargas del Amazonas, que a su vez son moduladas por la combinación de los eventos NIÑO/NIÑA con las anomalías de la temperatura superficial del Atlántico Tropical Central.

-Las temporadas ciclónicas analizadas, mostraron a su vez una fuerte relación con las descargas del Amazonas, cuyo exceso o déficit fueron atribuidas por diversos autores a la presencia de la NIÑA, pero en combinación con diferentes comportamientos de la temperatura oceánica.

-Un déficit de salinidad por descarga excesiva del Amazonas, puede inhibir la acumulación de calor en la superficie oceánica y a su vez deprimir a la actividad ciclónica, como fue observado en 2013.

-No se aprecia una influencia del Orinoco sobre las temporadas ciclónicas estudiadas, aunque puede causar un efecto local al paso de estos organismos sobre el Caribe.

-Se recomienda tomar en cuenta a las propiedades oceanográficas del Atlántico y el Caribe en los análisis del comportamiento de las temporadas ciclónicas, valorando la dependencia de las descargas del Amazonas y los factores que las modulan. Pueden ser de utilidad las salidas del modelo global HYCOM, libremente disponibles.

-Se recomienda tomar en cuenta las descargas del Amazonas y el Orinoco, sobre todo en los meses lluviosos del hemisferio Sur, preferiblemente por registros que se toman en diversas estaciones, según refiere la bibliografía consultada. Se sugiere tratar de consultar los registros de Obidos y Puerto Ayacucho, en la respectiva desembocadura de los ríos.

BIBLIOGRAFIA

1. Anthes R., R. W. Corell, G. Holland, J. W. Hurrell, M. C. MacCracken, K. E. Trenberth (2006) Hurricanes and Global Warming-Potential Linkages and Consequences, Comments, Bulletin of the American Meteorological Society, 623:628
2. Ballester M. (2009) Variabilidad de la actividad ciclónica en la región del Atlántico Norte y su pronóstico. Informe Científico del Proyecto 0803. Instituto de Meteorología, Ciudad de La Habana. 158 pp

3. Ballester M. y Rubiera J. M. (2006) Temporada ciclónica de 2005 en el Atlántico Norte <http://www.insmet.cu/asp/genesis.asp?TB0=PLANTILLAS&TB1=TEMPORADA&TB2=/Temporadas/temporada2005.html>
4. Ballester M. y Rubiera J. M. (2010) Temporada ciclónica de 2009 en el Atlántico Norte <http://www.insmet.cu/asp/genesis.asp?TB0=PLANTILLAS&TB1=TEMPORADA&TB2=/Temporadas/temporada2009.html>
5. Ballester M. y Rubiera J. M. (2014) Temporada ciclónica de 2013 en el Atlántico Norte <http://www.insmet.cu/asp/genesis.asp?TB0=PLANTILLAS&TB1=TEMPORADA&TB2=/Temporadas/temporada2013.html>
6. Carton J. A., Z. Zhou (1997) Annual cycle of sea surface temperature in the tropical Atlantic Ocean, vol 102, no C13, 27,813:27,824
7. GEBCO (2009) GEBCO DIGITAL ATLAS, General Bathymetric Chart of the Oceans, Centenary Edition of the IHO/IOC, Natural Environment Research Council/British Oceanographic Data Center, Updated november 2008-may 2009.
8. Hounsou-gbo G. A., Araujo M., Bourlès B., Veleza D. and Servain J., (2015) Tropical Atlantic Contributions to Strong Rainfall Variability Along the Northeast Brazilian Coast, Hindawi Publishing Corporation, Advances in Meteorology, Volume 2015, Article ID 902084, 13 pages, <http://dx.doi.org/10.1155/2015/902084>
9. HYCOM User's Guide (2003) Hybrid Coordinate Ocean Model, v 2.1, written by A. Wallcraft from Naval Research Laboratory and S.N. Carroll, K.A. Kelly, K.V. Rushing from Planning Systems Incorporated, available at <http://panoramix.rsmas.miami.edu/hycom/documentation.html>
10. Marengo J.A., C. A. Nobre, J. Tomasella, M.D. Oyama, G. Sampaio de Oliveira, R. de Oliveira, H. Lamargo, L. H. Alves, I. F. Brown (2008) The Drought of Amazonia in 2005. Journal of Climate, 16 pp, online available: <https://www.researchgate.net/publication/47444386>
11. Mitrani I. y colectivo de autores (2008) "Atlas Oceanográfico de las Aguas Cubanas", Compendio de Resultados Científicos del Programa Científico Nacional "Análisis y pronósticos del Clima Terrestre y Espacial, Editora AMA, ISBN: 978-959-300-001-7 (En soporte digital)
12. Mitrani I. y colaboradores (2017) "LAS INUNDACIONES COSTERAS EN CUBA . INFLUENCIA DE LA ESTRUCTURA TERMOHALINA Agencia de Medio Ambiente, (Ed.), ISBN: 978-3000-061-1, (en soporte digital), La Habana, Cuba, 160 pp, Venta online: Empresa CITMATEL, www.citmatel.inf.cu
13. NHC (2019) National Hurricane Center/Archive, <http://www.nhc.noaa.gov>
14. Nobre C. A., Sellers P. J., Shukla J. (1991), Amazonian Deforestation and Regional Climate Change, Journal of Climate, Vol 4, 957:987
15. Ronchail J., D. Labat, J. Calde, G. Cochonneau, J. L. Guyot, N. Filizola & E. De Oliveira (2005) Discharge variability within the Amazon basin, *Regional Hydrological Impacts of Climatic Change—Hydroclimatological Variability*, (Proceedings of symposium S6 held during the Seventh IAHS Scientific Assembly at Foz do Iguaçu, Brazil, April 2005). IAHS Publ. 296, 2005, 21:29
16. Rueda D., Muller F., Chuanmin Hu (2010) Connectivity in the Eastern Caribbean Sea (towards the Gulf of Mexico), using satellite imagery. Conference in powerpoint, Institute of Marine Remote Sensing, University of South Florida, on line available:
17. http://mote.org/clientuploads/4nadine/beyondhorizon/conferencepowerpoints/Rueda_O.pdf
18. Rudzin J. E., Shay L. K. and De la Cruz B. J. (2019) The Impact of the Amazon–Orinoco River Plume on Enthalpy Flux and Air–Sea Interaction within Caribbean Sea Tropical Cyclones, MWR-D-18-0295, online available: <https://doi.org/10.1175/MWR-D-18-0295.1>

19. Silva G. (2005) La cuenca del Orinoco: Visión hidrográfica y balance hídrico. Revista Geográfica Venezolana, Vol-46(1), 75-108, online available: <https://www.researchgate.net/publication/28096141>

Souza E. B. de, M. T. Kayano, J. Toya, L. Pezzi, G. Fisch, C. Nobre (2000), On the influence of the EL NIÑO, LA NIÑA y el patrón dipolo del Atlántico