

MÉTODOS EMPLEADOS EN LA ELABORACIÓN DEL BOLETIN HIDROCLIMÁTICO

Agradecimientos:

La imágenes presentadas en este boletín fueron obtenidas gracias al sistema en línea GIOVANNI desarrollado y establecido por el Goddard Earth Sciences Data and Information Service Center de la NASA. También se agradece a los científicos y a todos los involucrados en las misiones MODIS y AVHRR.

INTRODUCCIÓN

El boletín hidroclimático, que se encuentra en la página web y está disponible para todo público, consta de tres secciones: a).-Descripción de las condiciones prevalecientes, en tiempo casi real, de los mares mexicanos a partir del análisis de imágenes de temperatura y clorofila-a, registradas por sensores instalados en satélites. b).-Descripción de la trayectoria y características de eventos hidroclimáticos (meteoros de origen tropical y frentes fríos); c).- Actualización de los índices climáticos que describen las condiciones prevalecientes de El Niño, la Oscilación Multidecadal del Atlántico y la Oscilación Decadal del Pacífico. El propósito de este documento es describir las fuentes de los datos así como los métodos utilizados y las características de la información utilizada.

MÉTODOS

La descripción de las condiciones hidroclimáticas a partir del análisis de imágenes de temperatura y clorofila-a se efectuó en tres etapas: 1.-Adquisición de imágenes; 2.-Procesamiento digital de imágenes; 3.-Cálculo de anomalías. A continuación se describirá cada una de estas fases.

1.- Adquisición de información. Las imágenes se obtuvieron en el portal *Giovanni*-Interactive Visualization and Analysis de la Goddard Earth Sciences Data and Information Service Center de la NASA¹. En el portal de datos oceánicos se ingresa a la sección Ocean Color Radiometry Online Visualization and Analysis Monthly Data, en donde se selecciona la información captada por el Sensor MODIS-Aqua. (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) con resolución espacial de 4 km. Se optó por emplear los datos de este sensor porque en INAPESCA ya se cuenta con una base significativa de información proporcionada por la CONABIO y el artefacto está en órbita y activo. Los detalles de la

¹ Portal en internet. <http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/giovanni>. Las características de esta base de datos se describen en la página web http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/giovanni/overview/what-is-giovanni/giovanni_brochure

operación del sensor están descritos en la página web del sensor MODIS (<http://modis.gsfc.nasa.gov/>), en tanto que sus características físicas tales como número de bandas, órbita, resolución espacial, etc., se encuentran en la dirección web: <http://modis.gsfc.nasa.gov/about/specifications.php>. Por otro lado, para conocer las particularidades de los instrumentos que miden la temperatura en el sensor MODIS, instalado en el satélite Aqua, es conveniente visitar la página de la NASA² y revisar el trabajo de Minnet *et al.*, 2002³.

Las imágenes incluidas en el portal *Giovanni* ya están procesadas, referenciadas geográficamente y promediadas, por lo que su resolución temporal es mensual y el tamaño del pixel es de 4 km por lado (Tabla 1). El formato de los archivos es hdf (hierarchical data format) por lo que se puede desplegar fácilmente en cualquier programa de análisis de imágenes digitales (WIM, ENVI, etc.) o en programas libres que se encuentran en la página web de la NASA. Las coordenadas extremas de las imágenes corresponden con las que presenta CONABIO en la base de datos Sistema Satelital de Monitoreo Oceánico⁴.

Tabla 1 Características de las imágenes obtenidas del portal *Giovanni* de la NASA

Variables	Características
Coordenadas extremas	-122 a -72 °O; 33 a 3 °N
Tamaño de pixel en km	4 km
Tamaño de pixel en grados (latitud)	0.04160887
Tamaño de pixel en grados (longitud)	0.04163197
Columnas (renglones)	1201 (721)
Proyección geográfica	Lat/Long
Datum	WGS-84
Tipo de servicio	Lat-Lon Area Plot, Time-averaged
Tipo de operación	Promedio mensual
Proyección	Cilíndrica equidistante

Una de las variables seleccionadas para el boletín es la temperatura superficial marina nocturna (Sea surface temperature (11 micron night) 4 km (MAMO_NSST_4km-CR)), expresada en grados centígrados y la cual es una medida de la temperatura del agua en la denominada “capa de piel” del océano, que abarca el primer 0.1 mm de profundidad. Este estrato es el que recibe mayor influencia de la radiación solar por lo que su temperatura puede ser distinta a la registrada en la superficie marina, si se considera que ésta corresponde al primer metro, por lo que para minimizar esta diferencia se utilizaron las mediciones nocturnas que efectúa el satélite. Para obtener más información acerca de la desigualdad entre la temperatura de la piel del océano y la de la capa de mezcla, medidas

² http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/oceans/science-focus/modis/MODIS_and_AIRS_SST_comp.shtml

³ Minnett, P.J., R.H. Evans, E.J. Kearns y O.B. Brown. 2002. Sea-surface temperature measured by the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS). Geoscience and Remote Sensing Symposium. IGARSS'02. IEEE International vol. 2: 1177-1179. Dirección web consultada el 4 de junio de 2013: http://cimss.ssec.wisc.edu/dbs/China2011/Day2/Lectures/MODIS_MOD28_SST_Reference.pdf

⁴ <http://www.biodiversidad.gob.mx/pais/mares/satmo/>

por el sensor MODIS se sugiere visitar el portal http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/oceans/science-focus/modis/MODIS_and_AIRS_SST_comp.shtml

Las mediciones estándar de temperatura se realizan a partir de las longitudes de ondas de 11 y 12 μm , como ocurre con la serie de sensores Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR), que tiene poco más de 20 años en funcionamiento y que han estado instalados en los satélites de la serie NOAA. Cabe hacer notar que aunque en las regiones húmedas, el vapor absorbe cantidades importantes de la radiación en estas longitudes de onda, se seleccionaron los valores calculados a partir de la banda de 11 μm para que sean comparables con los datos del sensor AVHRR. Si algún usuario requiere datos de mejor calidad, pero con series de tiempo más cortas (a partir de julio de 2002), puede obtener la información de la banda de 4 μm directamente del portal *Giovanni*, porque ésta es menos sensible al vapor de agua y un poco más precisa en aguas tropicales.

La precisión de la temperatura nocturna medida a partir de la banda de 11 μm es en promedio de - 0.038 °C, y la desviación estándar de 0.550 (n=411). Este valor fue estimado a partir de la comparación de los datos satelitales con los obtenidos por un irradiómetro de alta resolución (M-AERI) instalado en barcos, que se especializa en medir la temperatura de la piel del océano. Hay más información disponible en: http://modis.gsfc.nasa.gov/sci_team/meetings/200503/posters/ocean/minnett2.pdf

Las anomalías térmicas se calcularon a partir de las medias y las desviaciones estándar (desvest) de la temperatura nocturna generadas por el Physical Oceanography Distributed Active Archive Center (PODAAC) de la NASA con la información registrada por el sensor AVHRR durante el intervalo 1985-2001, almacenada en la base de datos NODC/RSMAS AVHRR Pathfinder Verison 5.0 data set⁵. Esas imágenes son de escala global y están almacenadas en formato HDF-SDS (Versión 4) en el PO.DAAC, por lo que antes de calcular las anomalías, se recortaron al tamaño del área de estudio y los valores de temperatura (SST) se calcularon con las funciones:

$$\text{SST media} = (0.75 \text{ VD}) - 3 \quad \text{Ec. 1}$$

$$\text{SST desvest} = (0.75 \text{ VD}) \quad \text{Ec. 2}$$

Donde VD es el valor del pixel.

⁵ Kenneth S. Casey, Ph.D. NOAA National Oceanographic Data Center.
ftp://ftp.nodc.noaa.gov/pub/data.nodc/pathfinder/Version5.0_Climatologies/1985_2001/

Las anomalías estandarizadas se calcularon a partir de las imágenes mensuales obtenidas por el satélite MODIS-Aqua a las cuales se les restó la media del mes correspondiente y dividió entre la desviación estándar, por lo que carecen de unidades. Puesto que los datos no fueron obtenidos con el mismo sensor, aunque las anomalías reflejan la magnitud de diferencia, como se desprende de la comparación de las imágenes del Golfo de México calculadas con las que presenta el Earth Scan Laboratory de la Louisiana State University (e.g. anomalía de enero: <http://www.esl.lsu.edu/imagery/GVAR/goes-monthly-sst/image/254412/>), deben considerarse desde el punto de vista cualitativo más que cuantitativo.

La otra variable seleccionada para el boletín, debido a su relación con la biomasa fitoplanctónica y la disponibilidad de alimento, fue la concentración de clorofila a (Chlorophyll a concentration 4 km (MAMO_CHLO_4km.CR)), que esta expresada en mg/m^3 . La clorofila total es un producto generado por el modelo de la NASA Ocean Biogeochemical Model (NOBM), que se basa en la asimilación de los pigmentos medidos de manera remota y no es un producto producido por observación directa. Por otro lado, las anomalías se calculan a partir de la diferencia entre el valor de un mes en particular y el promedio de ese mes (unidades: mg/m^3), aunque en este caso los valores fueron obtenidos directamente del portal *Giovanni*, cuyo equipo de trabajo (Ocean Biology Processing Group- OBPB del Goddard Space Flight Center⁶) las estima a partir de los promedios de la década correspondiente al intervalo julio 2002- junio 2012.

El procesamiento de las imágenes se realizó con el programa ENVI 4.5 (www.itvis.com); cabe señalar que cuando se despliegan las imágenes extraídas del *Giovanni* aparecen de manera invertida, por lo que en primera instancia se corrigió la posición y los datos se traspusieron en un ángulo de 270° , posteriormente se editó el encabezado para establecer los parámetros base: la cantidad de columnas ($n=1201$) y renglones ($n=721$), las coordenadas de la esquina superior izquierda (-122°O , 33°N) y el tamaño del pixel expresado en grados ($x=0.04163197$; $y=0.041608870$).

La paleta de falso color se aplicó con la herramienta *Density slice* incluida en el menú de imagen del ENVI, que asigna un determinado color a un intervalo de valores. Este procedimiento permite uniformizar las escalas de color de imágenes de diferentes meses. Las paletas empleadas y los valores correspondientes en rojo, verde y azul (formato RGB) se presentan en la *tabla 2*.

⁶ Ver notas en: http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/gesNews/modis_aqua_ocean_color_climatologies_giovanni

Tabla 2 Escalas de colores de cada una de las paletas aplicadas en formato RGB. A) Temperatura, B) Clorofila a, C) Anomalía de la temperatura y la clorofila a.

a) Temperatura

Intervalo inferior	Intervalo superior	Red	Green	Blue
0	14	0	0	0
14	15	0	0	100
15	16	0	0	150
16	17	0	0	200
17	18	50	70	150
18	19	60	80	160
19	20	70	90	170
20	21	34	136	187
21	22	17	170	221
22	23	0	204	255
23	24	0	229	255
24	25	0	255	255
25	26	85	255	170
26	27	169	255	86
27	28	255	255	0
28	29	255	205	0
29	30	255	153	0
30	31	255	102	0
31	32	255	51	0
32	33	255	0	0
33	65535*	0	0	0

*Este valor señala los datos nulos (nubes y tierra).

B) Clorofila a

Intervalo inferior	Intervalo superior	Red	Green	Blue
	0	0	0	0
0	0.1	52	0	204
0.1	0.2075	0	36	255
0.2075	0.305	0	96	255
0.305	0.4025	0	136	255
0.4025	0.5	0	156	255
0.5	1	0	255	255
1	1.5	0	255	183
1.5	2	0	255	135
2	2.5	0	255	87
2.5	3	0	255	0
3	3.5	87	255	0
3.5	4	111	255	0
4	4.5	135	255	0
4.5	5	159	255	0
5	6	183	255	0
6	7	207	255	0
7	8	231	255	0

8	9	255	255	0
9	10	255	239	0
10	12.5	255	223	0
12.5	15	255	207	0
15	17.5	255	191	0

C) Anomalías de temperatura y clorofila

Intervalo inferior	Intervalo superior	Red	Green	Blue
-5	-4	50	0	100
-4	-3	50	0	120
-3	-2	50	0	150
-2	-1	50	0	200
-1	-0.5	50	0	255
-0.5	-0.1	0	255	255
-0.1	0	220	255	255
0	0.1	255	255	255
0.1	0.5	245	255	223
0.5	1	250	255	170
1	2	255	255	0
2	3	205	133	0
3	4	255	165	0
4	5	255	0	0

También se trazaron líneas de contorno para destacar las diferencias entre la temperatura, las concentraciones de clorofila a y sus anomalías. En el caso de la temperatura se establecieron cada 2°C, considerando el intervalo 10- 34 °C; sin embargo, para incrementar el contraste con la paleta, las isotermas cuyos valores estuvieron comprendidos en el intervalo 10-20 °C, se colorearon de blanco y las iguales o mayores de 22 °C, de negro. Con la clorofila se emplearon intervalos de 0.1 mg cuando las concentraciones fueron menores a 0.5, posteriormente se destacaron las isolíneas de 1, 3, 1, 5 y 10 mg/m³ (Tabla 3). Todas las líneas de contorno aplicadas en las imágenes de ambas variables son continuas. Por otro lado, las anomalías tanto de la temperatura como de la clorofila, se organizaron en intervalos de 1, excepto entre los valores de -1 y 1, que se dividieron en cuatro (Tabla 3); la mayoría de las líneas fueron continuas, excepto en el caso del cero que se destacó con una línea punteada.

Tabla 3 Líneas de contorno empleadas para destacar la concentración de clorofila a (A) así como de las anomalías térmicas y de la clorofila (B). En la segunda columna se presenta el color en formato RGB. El término “solid” indica que las líneas fueron continuas

A) Clorofila a

Concentración (mg/m³)	R G B
<0.1	0,0,0
0.2	0,0,139
0.3	0, 0, 205
0.4	0, 0, 238
0.5	255, 255, 255
1	0, 139, 139
3	0, 205, 205
5	205, 205, 0
10	255, 0,0

B) Anomalías de temperatura y clorofila

Concentración (mg/m³)	R G B
-5	0, 0, 0
-4	0, 0, 0
-3	0, 0, 0
-2	0, 0, 0
-1	0, 0, 139
-0.5	0, 0, 205
-0.1	0, 0, 238
0	0, 255, 255
0.1	139, 139, 0
0.5	205, 205, 0
1	238, 238, 0
2	205, 133, 0
3	238, 154, 0
4	255, 165, 0
5	255, 0, 0

Finalmente se adicionaron puntos para indicar los puertos más importantes del país. Se utilizaron las claves de las ciudades empleadas por la Asociación Internacional de Transporte Aéreo (Tabla 4).

Tabla 4 Claves de los puertos más importantes. Se emplearon los acrónimos de la Asociación Internacional de Transporte Aéreo, (en inglés "International Air Transport Association" o IATA), excepto en el caso de Puerto Chiapas, la desembocadura del vaso norte de Laguna Madre (Tamps), Coatzacoalcos y Puerto Progreso.

Pacífico	Clave	Golfo de México	Clave
Ensenada	ESE	Desembocadura vaso norte de Laguna Madre	B
La Paz	LAP	Tampico	TAM
Guaymas	GYM	Tuxpan	TUX
Mazatlán	MZT	Veracruz	VER
Puerto Vallarta	PVR	Coatzacoalcos	C
Manzanillo	ZLO	Ciudad del Carmen	CME
Acapulco	ACA	Progreso	D
Puerto Escondido	PXM	Isla Mujeres	ISJ
Salina Cruz	SCX		
Puerto Chiapas	A		

2.- Frentes fríos y huracanes

La información referente a los pronósticos de la temporada de huracanes 2013 y de los eventos que se presentaron en los océanos Atlántico y Pacífico hasta el 16 de julio de 2013, se obtuvo de la página web del Centro Nacional de Huracanes de la NOAA (Tabla 5). Las trayectorias se desplegaron en el programa Google Earth. Se describe la trayectoria, duración e intensidad según la información preliminar de la NOAA.

Tabla 5 Fuentes de información de los pronósticos de la temporada de huracanes 2013 y de la trayectoria de los meteoros ocurridos hasta el 16 de julio de 2013.

Variable	Fuentes de Información
Predicción temporada	Predicción de la intensidad de la temporada 2013. Servicio Meteorológico Nacional http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=252&Itemid=44 2013 Eastern Pacific Hurricane Outlook Summary: http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/Epac_hurr/Epac_hurricane.html http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/outlooks/hurricane.shtml 2013 Atlantic Hurricane Outlook Summary: http://www.noaanews.noaa.gov/stories2013/20130523_hurricaneoutlook_atlantic.html
Trayectoria	Trayectorias Dirección WEB: http://www.nhc.noaa.gov/gis/archive_besttrack.php

3.-Indicadores ambientales

Los indicadores ambientales se obtuvieron de las páginas web de la NOAA y del Joint Institute for the Study of the Atmosphere and Ocean (JISAO⁷) de la Universidad de

⁷ <http://jisao.washington.edu/>

Washington. La situación de El Niño se describe a partir del valor del MEI (<http://www.esrl.noaa.gov/psd/enso/mei/>), la de la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO) del índice del mismo nombre (<http://jisao.washington.edu/pdo/PDO.latest>) y las condiciones medias del Atlántico a partir de la AMO (<http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/correlation/amon.us.data>).

Créditos

María del Carmen Jiménez Quiroz carmen.jquiroz@inapesca.sagarpa.gob.mx

Erik Márquez García erik.marquez@inapesca.sagarpa.gob.mx

José Luis Falcón Rodríguez luis.falcon@inapesca.sagarpa.gob.mx

Anexos

Escala de color de las variables descritas en el boletín.

