

capacidad de 100 L, se determinó que el aceite domestico no es suficiente, pero que el proyecto es factible si se emplea el aceite proveniente de las microempresas de frituras.

## Referencias

INEGI, 2010. Viviendas Particulares Habitadas. Página oficial con información geográfica y demográfica.

Amado G. Eliseo; Villamizar Álvaro; Gafaro Alexis. 2005. Evaluación de Procesos de Producción de Biodiesel a Partir de Grasas Amarillas con Altos Contenidos de Ácidos Grasos. Bistua Vol. 3: Pp. 60.

Caballero Moreno, E.A., J.C Vidal López, C.A. Morgan López, M. Espinosa Ovando e I.A. Roblero González (2012). "Aceites Reciclados de cocina como materia prima de próxima generación para la obtención de biodiesel en Chiapas", Ide@s CONCYTEG 7, Vol. 85, pp. 16.

Programa Nacional de Cambios Climáticos. 2007 "Adecuación Tecnológica de la obtención de Biodiesel". Proyecto de la Universidad Mayor de San Andrés- Instituto de investigación y desarrollo de procesos químicos. Pág. 145.

(Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal, y Gobierno del Estado de Veracruz, 2005. Enciclopedia de los Municipios de México (30/01/2013).

Montgomery D, Runger G. 1996. Probabilidad y Estadística aplicadas a la Ingeniería. McGraw-Hill.interamericana editores, S. A. de C. V. México, D. F. pp 100-102.

Taha H. 1995. Investigación de operaciones. Alfaomega grupo editor., S.A. de C.V. Quinta edición. México, D.F. pp 316-318.

Hamdy, T. (2004). Modelos de Redes. Trujano. G. Pearson Education, México. 213-288.

Monks J. G. (1991). Administración de operaciones. McGraw-Hill/interameracana de Mexico, S.A de C.V. pp. 49-53.

## Transporte de aerosoles hacia el golfo de California

Martínez Flores G. <sup>1</sup>, Segovia Zavala J. A. <sup>2</sup> y García Álvarez Y. <sup>3</sup>

<sup>1</sup>Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional

<sup>2</sup>UABC Instituto de Investigaciones Oceanológicas,

<sup>3</sup>Instituto Tecnológico de La Paz

[gmflores@ieee.org](mailto:gmflores@ieee.org), [jsegovia@uabc.edu.mx](mailto:jsegovia@uabc.edu.mx), [yara.garcia@itlp.edu.mx](mailto:yara.garcia@itlp.edu.mx)

## Resumen

En los últimos años el estudio de las interacciones entre la circulación atmosférica a escala global y la química marina ha adquirido mayor importancia. Temas como la disminución de la capa de ozono, el transporte interoceánico de contaminantes, así como la influencia de gases y sustancias a niveles traza sobre el clima, son tópicos de interés internacional. Asimismo, el calentamiento de la atmósfera es importante debido a los cambios globales en el clima y su influencia en la dinámica del patrón de vientos, los cuales juegan un papel determinante en el transporte de contaminantes y elementos bioactivos. Para abordar estos tópicos es necesario comprender el papel que juegan las variaciones en los patrones de la circulación atmosférica en el transporte de aerosoles. Un mecanismo de transferencia importante de metales bioactivos desde los continentes hacia el ambiente marino es a través del transporte eólico,

principalmente desde los grandes desiertos del mundo. Estos ambientes son particularmente sensibles a las presiones de cambio global, y tales cambios podrían alterar la productividad del océano y por lo tanto el clima. La determinación de las fuentes de aporte de estos elementos tiene implicaciones importantes, tanto en aspectos de contaminación marina como de productividad, por lo que su ubicación espacial y la evaluación de su capacidad de aporte asociado a los patrones de viento, son componentes relevantes en la interacción continente-atmósfera-océano. En este trabajo se busca caracterizar la variabilidad de la circulación atmosférica considerando su importancia como mecanismo de transporte de aerosoles, desde el macizo continental y la Península de Baja California hacia el Golfo de California. Resultados preliminares del análisis de datos de viento NARR (1979-2012) indican un incremento en la intensidad de los vientos en los últimos 12 años. Se implementan algoritmos para la detección de aerosoles a partir de imágenes del sensor MODIS.

**Palabras clave:** Aerosoles, Golfo de California, MODIS, Transporte eólico.

**Abstract:** In recent years the study of the interactions between the global atmospheric circulation and ocean chemistry has become more important. Topics such as the decrease in the ozone layer, the ocean transportation of pollutants, as well as the influence of gases and substances at trace levels on climate, are topics of international interest. Also, global warming is important due to global climate change and its influence on the dynamics of the wind pattern, which play a role in the transport of pollutants and bioactive elements. To address these issues it is necessary to understand the effects of the atmospheric circulation changes in the aerosol's transport. A major transfer mechanism bioactive metal from the continents to the marine environment is through wind transport, mainly from the great deserts of the world. These environments are particularly sensitive to the pressures of global change, and such changes could alter ocean productivity and hence climate. Determining the contribution of these sources has important implications, both in terms of productivity as marine pollution, so their spatial location and evaluation of its capacity to input associated wind patterns are relevant components of interaction atmosphere-ocean-continent. The purpose of this work is to characterize the atmospheric circulation variability considering its importance as a transport mechanism of aerosols from the mainland and the Baja California Peninsula to the Gulf of California. Preliminary results of the analysis of NARR wind data (1979-2012) indicate a wind intensity increase in the last 12 years. Algorithms are implemented in order to detect aerosols from MODIS images.

**Key words:** Aerosols, Gulf of California, MODIS, Aeolian transport.

## Introducción

Los aerosoles son pequeñas partículas (<100  $\mu\text{m}$ ) sólidas o líquidas presentes en suspensión en la atmósfera. Además de ser generados por eventos naturales como las tormentas de arena o erupciones volcánicas, éstos son también emitidos en grandes cantidades por actividades antropogénicas en centros urbanos e industriales, quema de biomasa asociada con los procesos de uso de suelo, alcanzando niveles que afectan tanto al clima como a la salud humana (King et al., 1999; Arellano, 2011). En los últimos años el estudio de las interacciones entre la circulación atmosférica a escala global y la química marina ha adquirido mayor importancia (Ayers y Guillet, 2000; Wang et al., 2004). Temas como la disminución de la capa de ozono, el transporte interoceánico de contaminantes, así como la influencia en el clima de gases y sustancias a niveles traza, son tópicos de interés internacional (Ayers y Guillet, 2000; Sosa-Echeverría et al., 2007). Asimismo, el calentamiento de la atmósfera es importante debido a los cambios globales en el clima y su influencia en la dinámica del patrón de vientos, los cuales juegan un papel determinante en el transporte de contaminantes y elementos bioactivos (Ulden y Oldenborgh, 2006). Para abordar estos tópicos es necesaria la comprensión del papel que juegan las variaciones en los patrones de la circulación atmosférica, como mecanismo de transporte de aerosoles y de metales bioactivos desde los continentes hacia el ambiente marino, principalmente desde los grandes desiertos del mundo. Estos ambientes son particularmente sensibles a las presiones de cambio global, y tales cambios podrían alterar la productividad del océano y por lo tanto el clima (Jickells et al., 2005). El Fe es un nutriente esencial para todos los organismos, es usado en una variedad de sistemas de enzimas, incluyendo los de la fotosíntesis, respiración y fijación del nitrógeno. Para el fitoplancton, que normalmente está alejado de los sedimentos del fondo marino (rico en hierro) por la columna de agua, los requerimientos fisiológicos de este mineral se pueden alcanzar a través del polvo que se deposita en la superficie marina. El abastecimiento de Fe es por lo tanto un factor limitante del crecimiento del fitoplancton sobre vastas áreas del océano (Jickells et al., 2005). Estudios recientes (Segovia-Zavala et al., 2009) sobre flujo atmosférico de hierro hacia el Golfo de California ( $7.0$  a  $90.4 \mu\text{mol m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ), revelan que éste es del mismo orden de magnitud que los reportados para el Mar Rojo ( $1.5$  a  $116 \mu\text{mol m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ; Chase et al., 2006), que son de los más altos del mundo. La determinación de las fuentes de aporte de estos elementos tiene implicaciones importantes, tanto en aspectos de contaminación marina como de productividad, por lo que su ubicación espacial y la evaluación de su capacidad de aporte son componentes relevantes en la interacción continente-atmósfera-océano.

El objetivo general de este trabajo es caracterizar la variabilidad de la circulación atmosférica considerando su importancia como mecanismo de transporte de aerosoles, desde el macizo continental y la Península de Baja California hacia el Golfo de California, así como obtener evidencias del transporte de aerosoles de origen terrígeno hacia el golfo, mediante el tratamiento de imágenes de satélite.

## Metodología

Se procesaron datos de viento del noroeste de México de 1979 a 2012, obtenidos de la base de datos del Reanálisis Regional de América del Norte (NARR, por sus siglas en inglés) ([www.esrl.noaa.gov](http://www.esrl.noaa.gov)). Para generar los mapas de dirección e intensidad del viento se requieren los componentes zonal (u) y meridional (v) contenidos en archivos independientes en formato NetCDF. Los valores de estos componentes (m/s) tienen una resolución temporal de 3 horas y una resolución espacial de 0.3 grados (~32 km). El tratamiento consiste en acceder a los componentes de los vectores de viento correspondientes al nivel más bajo de la atmósfera (1000 hPa), disponibles a intervalos de 3 horas (00:00, 03:00, 06:00, 09:00, 12:00, 15:00 18:00 y 21:00). Para cada uno de estos conjuntos de datos (matrices) se genera un mapa con los vectores de viento, representando su magnitud y dirección. Posteriormente se calculan

estadísticos básicos para regiones específicas del área de estudio, almacenando estos valores en matrices bidimensionales, con el propósito de obtener una visión general y a largo plazo de las tendencias en las regiones seleccionadas.

Adicionalmente, se recaban para su procesamiento las imágenes captadas por el sensor MODIS/Aqua, las cuales constan de 34 bandas espectrales por escena. Estas imágenes son proporcionadas por la Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad (CONABIO), a través de su sitio ([www.conabio.gob.mx](http://www.conabio.gob.mx)). Las bandas de estas imágenes son procesadas con el algoritmo de Miller (2003) para llevar a cabo la detección de aerosoles sobre el océano y el continente.

## Resultados y discusión

La Fig. 1 muestra algunos ejemplos de la distribución espacial de los vectores de viento en el noroeste de México. Los mapas corresponden a las condiciones del 01/ENE/1979 a tres horas del día (03:00, 09:00 y 15:00) y a 1000 hPa de presión atmosférica, según los datos del NARR.

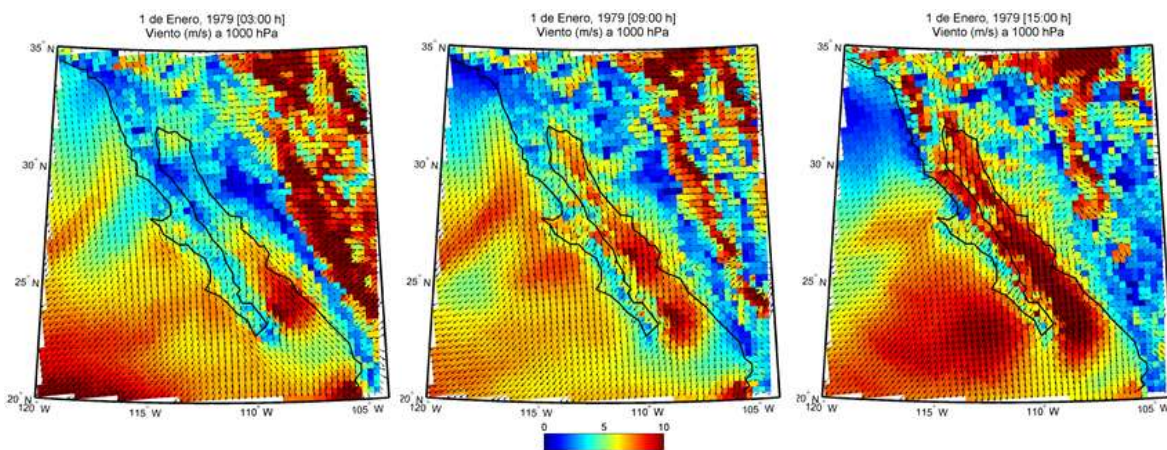


Figura 1. Vectores de viento para el 01/ENE/1979 a las 03:00, 09:00 y 15:00 h, al nivel de presión atmosférica de 1000 hPa. La escala de colores está en m/s.

Como se puede observar en la Fig. 1, existen variaciones significativas en la intensidad de viento durante el transcurso de un día. Por ejemplo, en esta figura se observa como en la región norte del Golfo de California la velocidad aumenta de ~2 a ~9 m/s en 12 h. Por lo tanto es importante considerar estas variaciones diurnas y no los promedios diarios al estimar la capacidad de estos vientos de transportar aerosoles.

Para los fines de este trabajo interesa caracterizar el nivel más cercano a la superficie (1000 hPa), puesto que estos vientos tienen mayor posibilidad de poner en movilidad y transportar aerosoles de origen continental. Por lo tanto, el proceso descrito en el apartado anterior es aplicado únicamente a los datos de viento (1979 a 2012) en este nivel de presión atmosférica. El resultado de este proceso se muestra en la Fig. 2. En ésta se representa la matriz en la que se han apilado (por cada fila) los datos mensuales (en intervalos de 3 horas) de intensidad máxima del viento en la región central del golfo, hasta completar los 34 años de información. Se muestran únicamente los valores de intensidad máxima (sin la dirección del viento). Se observa que la mayoría de las franjas rojas se encuentran ubicadas en las primeras o en las últimas de cada año, indicando que la mayor intensidad del viento en esta región ocurre en los meses de invierno, como ya ha sido documentado por varios autores. En la gráfica que se muestra a la derecha de la Fig. 2, destaca la amplitud entre las medias mensuales ubicadas entre los años 1988 y 1989, así como su coincidencia con el cambio de régimen climático en ese periodo. Esta amplitud también se hace evidente en los últimos 12 años representados en la gráfica.



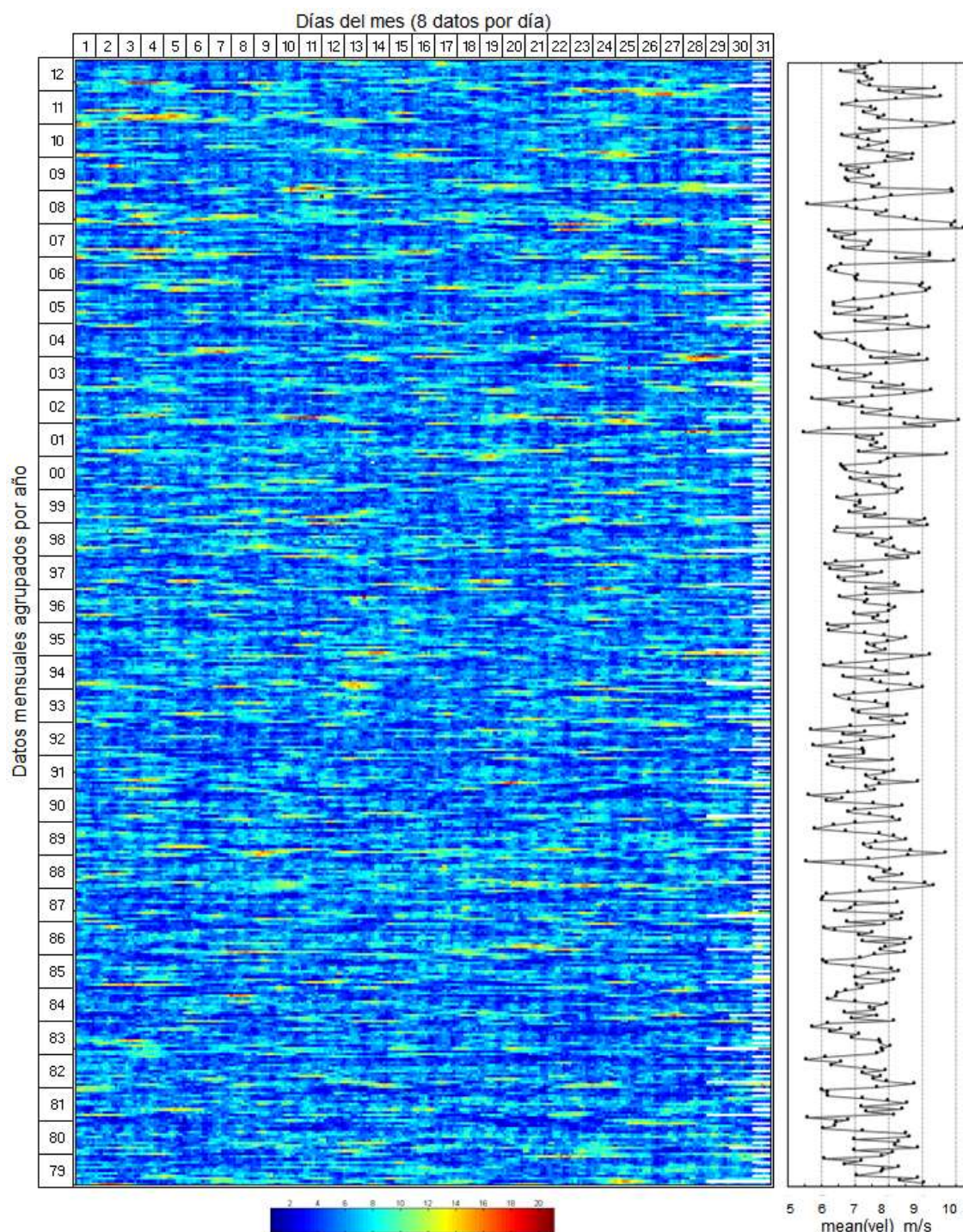


Figura 2. Matriz de valores máximos de la velocidad del viento (m/s) a 1000 hPa en la región central del Golfo de California del 01/ENE/1979 al 31/DIC/2012 en intervalos de 3 h (escala de colores en m/s). La gráfica de la derecha muestra la velocidad media mensual (m/s).

La variabilidad del viento en el golfo es fuertemente estacional. En general, en verano soplan vientos débiles del sureste y en invierno vientos más fuertes del noroeste a lo largo del eje del golfo (Merrifield y Winant, 1989). Sin embargo, en escalas de tiempo más cortas (de horas) es

posible observar vientos transversales al golfo, que tienen mayor influencia en el transporte de aerosoles hacia este mar marginal (Fig. 3). Baumgartner et al. (1991) sugirieron que gran parte del aporte terrígeno al Golfo de California se debe al aporte eólico asociado a las tormentas del desierto de Sonora, las cuales ocurren durante el verano.

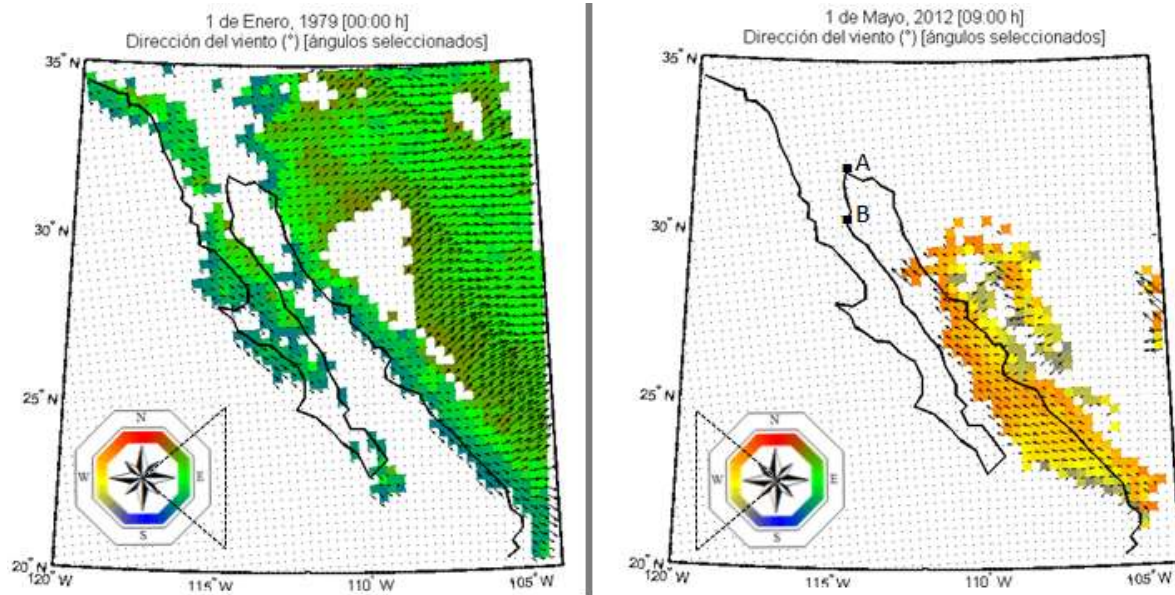


Figura 3. Selección de ángulos del viento con potencial de transportar aerosoles al Golfo de California (de 45 a 135° y de 225 a 315° para las imágenes del 01/ENE/1979 y 01/MAY/2012).

Para observar con mayor detalle esta variabilidad en el periodo de estudio, se examinó la dirección e intensidad del viento en ubicaciones costeras específicas. La Fig. 4 muestra un ejemplo de los resultados obtenidos en las localidades A y B señaladas en la figura anterior.

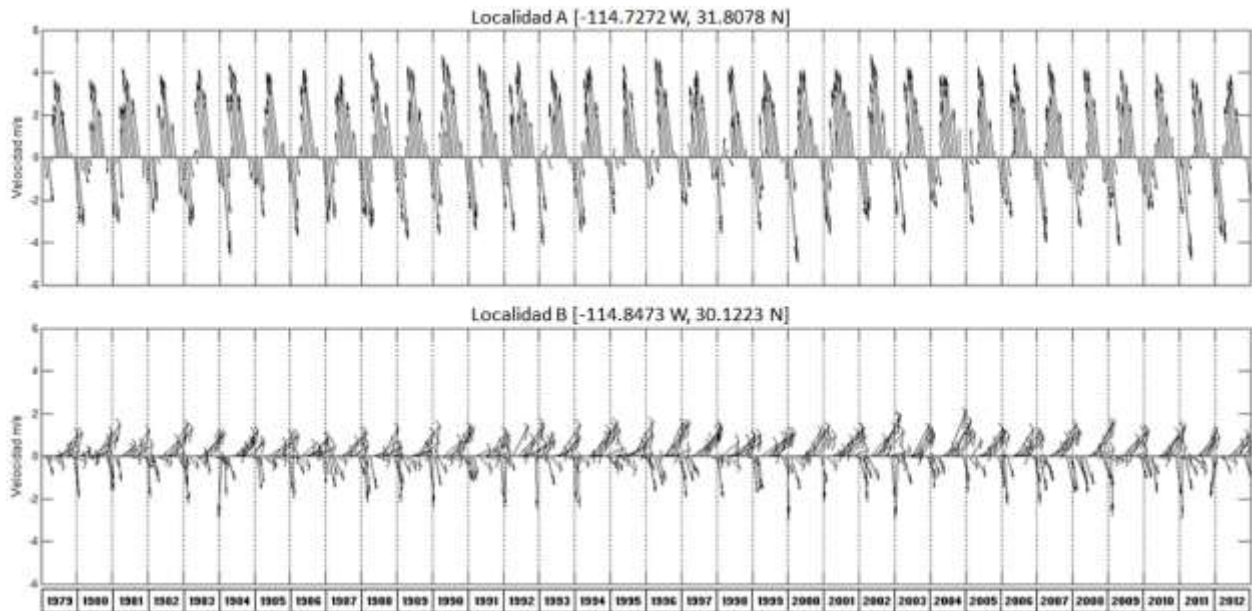


Figura 4. Variación de la intensidad y dirección del viento en las localidades A y B (ver Fig. 3) en 34 años (408 meses). Datos del día 15 de cada mes.



## Conclusiones

Es necesario considerar la variabilidad diurna del viento a largo plazo para caracterizar regiones de la capa baja de la atmósfera con mayor probabilidad de transportar material hacia el Golfo de California, considerando también su ubicación con respecto a la línea de costa. Se infiere que el transporte de aerosoles no sigue necesariamente el patrón general de vientos en la región, sino que hay una influencia importante de transporte transversal al golfo. Por la configuración de la línea de costa del golfo y el patrón de vientos en ubicaciones específicas, la región del alto golfo tiene mayor probabilidad de recibir aportes de material terrígeno por vía eólica durante prácticamente todo el año. Un factor importante en la intensificación de los vientos en esta región coincide con el cambio de régimen climático (1988-1989), así como en los últimos 12 años del periodo de estudio, sin embargo es necesario realizar un análisis más detallado considerando otras variables para inferir los factores que intervienen en estos cambios en la intensidad del viento.

## Agradecimientos

Este trabajo está siendo financiado por el proyecto CONACYT CB-2011-01-166897 "Flujo atmosférico de metales bioactivos y su solubilidad en el Golfo de California: un escenario hacia el cambio climático". Los datos de viento NARR fueron proporcionados por NOAA-ESRL Physical Sciences Division, Boulder Colorado ([www.esrl.noaa.gov/psd/](http://www.esrl.noaa.gov/psd/)). Las imágenes de satélite están siendo proporcionadas por CONABIO ([www.conabio.gob.mx](http://www.conabio.gob.mx)) y por la NASA ([oceancolor.gsfc.nasa.gov](http://oceancolor.gsfc.nasa.gov)).

## Referencias

- Arellano, H. J. 2011. Evaluación de aerosoles troposféricos del AMCM por medio de imágenes de satélite GOES. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo (CIIEMAD), México, D. F., 94 p.
- Ayers G. P. and Gillet R. W. 2000. DMS and its oxidation products in the remote marine atmosphere: implications for climate and atmospheric chemistry. *Journal of Sea Research* 43:275-286.
- Baumgartner T. R., Ferreira-Batrina V., and Moreno-Hentz P. 1991. Varve formation in the central Gulf of California: A reconsideration of the origin of dark laminae from the 20th century varve record. En: *The Gulf and Penninsular Province of the Californias*. Chap 30. J. P. Dauphin y. Simoneit B. R. T (Eds.). AAPG Memoir. 47: 617-635.
- Chase, Z., A. Paytan., K.S. Johnson., J. Street y Y. Chen. 2006. Input and cycling of iron in the Gulf of Aqaba, Red Sea. *Global Biogeochemical Cycles*, 20, GB3017, doi:10.1029/2005GB002646.
- Jickells, T.D., Z. S. An, K. K. Andersen, A. R. Baker, G. Bergametti, N. Brooks, J. J. Cao, P. W. Boyd, R. A. Duce, K. A. Hunter, H. Kawahata, N. Kubilay, J. laRoche, P. S. Liss, N. Mahowald, J. M. Prospero, A. J. Ridgwell, I. Tegen, R. Torres. 2005. Global iron connections between dust, ocean biogeochemistry and climate, *Science*, 308, 67-71.
- King M., Kaufman Y., Tanré D. and Nakajima T. 1999. Remote sensing of tropospheric aerosols from space: Past, present, and future. *Bull Am Meteorol Soc*, 80: 2229-2259.
- Merrifield, M. A. and Winant, C. D. 1989. Shelf circulation in the Gulf of California: a description of the variability, *J. Geophys. Res.*, 94:18133-18160.

Miller, S. D. 2003. A consolidated technique for enhancing desert dust storms with MODIS. *Geophysical Research Letters*, 30:2071–2074.

Segovia-Zavala, J.A., Delgadillo-Hinojosa, F., Lares-Reyes, M.L, Huerta-Díaz, M.A., 2009. Atmospheric iron input and the sea-surface dissolved iron concentrations in the Gulf of California. *Ciencias Marinas*, 35:75-90.

Sosa-Echeverría, R., H. Bravo-Álvarez., P. Sánchez-Álvarez., R. Soto-Ayala., A. Alarcón-Jiménez y J. D. W. Kahl. 2007. *Ingeniería. Investigación y Tecnología*. VIII. 2: 71-83.

Ulden A. P. y Oldenborgh, G. J. 2006. Large-scale atmospheric circulation biases and changes in global climate model simulations and their importance for climate change in Central Europe. *Atmos. Chem. Phys* (6): 863-881.

Wang C., Xie, S. P. y Carton J. A. 2004. In *Earth Climate: The Ocean-Atmosphere Interaction*, Wang C., Xie, S. P. y Carton J. A. (ed). Monograph, 147, AGU, Washington D. C: 1-19.