A satellite image of a tropical cyclone, showing a distinct eye and spiral cloud bands over a dark ocean. The cyclone is positioned in the lower-left quadrant of the frame.

Interacción de ciclones tropicales, viento y productividad primaria en la bahía de La Paz, B.C.S.

Interaction of tropical cyclones, wind, and primary
productivity in the bay of La Paz, B.C.S.

Recursos Naturales y Sociedad, 2023. Vol. 9 (2): 107-120. <https://doi.org/10.18846/renaysoc.2023.09.09.02.0009>

Hugo Herrera Cervantes¹, Alfredo Aguirre Estrada¹

¹Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada-Unidad La Paz, Miraflores 334,
Fracc. Bellavista, La Paz, C.S. 23050, México. E-mail: hherrera@cicese.mx



Resumen

En este artículo se muestra como Estaciones Meteorológicas Autónomas (EMAs) instaladas en la zona costera de la Bahía de La Paz (BLPZ), registraron el paso de 2 ciclones tropicales (CT); Lidia (29 de agosto al 2 de septiembre de 2017) y Lorena (21 de septiembre de 2019) y su efecto sobre el patrón de viento y la productividad biológica de la BLPZ. Las EMAs ubicadas en el sur y centro de la bahía, registraron las mayores velocidades y rachas de viento (~ 23 y 30 m s^{-1}) durante el paso de ambos CTs y direcciones predominantes del primer, segundo y tercer cuadrante. Las imágenes semanales del satélite MODIS-Aqua de Clorofila *a* superficial (Chl-*a*), mostraron un incremento en los valores de Chl-*a* ($> 3 \text{ mg m}^{-3}$) en BLPZ después del paso de Lidia y Lorena. Tanto las imágenes de satélite como las observaciones registradas por las EMAs, aportan información valiosa para la toma de decisiones, en la prevención de riesgos, sustentabilidad, aprovechamiento de energías renovables e incentivan el monitoreo de los ecosistemas costeros como la mejor forma de evaluar los impactos de los CTs en áreas de gran valor ecológico como la BLPZ.

Palabras clave: Estaciones Meteorológicas autónomas, Bahía de La Paz, ciclones tropicales, velocidad del viento, Clorofila *a* superficial

Abstract

This article shows how Autonomous Meteorological Stations (EMAs) installed in the coastal zone of the Bay of La Paz (BLPZ), recorded the passage of 2 tropical cyclones (TC); Lidia (August 29 to September 2, 2017) and Lorena (September 21, 2019) and their effect on the wind pattern and biological productivity of

the BLPZ. The EMAs located in the south and center of the bay, recorded the highest wind speeds, gusts (~ 23 and 30 m s^{-1}) and predominant directions of the first, second and third quadrants during the passage of both TCs. Weekly MODIS-Aqua satellite images of surface Chlorophyll *a* (Chl-*a*) showed an increase in Chl-*a* values ($> 3 \text{ mg m}^{-3}$) in BLPZ after the passage of Lidia and Lorena. Both the satellite images and the EMAs observations provide valuable information for decision-making, risk prevention, sustainability, renewable energy, and encourage monitoring of coastal ecosystems as the best way to evaluate the impacts of the TCs in areas of great ecological value such as the BLPZ.

Keywords: Autonomous Meteorological Stations, Bahía de La Paz, tropical cyclones, wind speed, Chlorophyll *a*

Antecedentes

En los últimos años el extremo sur de la Península de Baja California ha sido impactada por ciclones tropicales (CTs) de diferentes categorías como Liza, 1976, Juliette, 2001, Odile, 2014, Newton, 2016, Lidia, 2017, Lorena, 2019 cuyas rachas de viento oscilaron entre ~ 100 y 200 km/h, causando daños considerables en la infraestructura urbana y en los ecosistemas costeros de la región.

Las características hidrográficas que presenta la BLPZ durante un ciclo anual son influenciadas por el patrón de vientos; fuertes vientos del noroeste durante el invierno que cambian a débiles y moderados del sur y suroeste durante el verano (Herrera-Cervantes, 2019). Este cambio en la dirección del viento (con carácter monzónico) influye en la circulación superficial típica de la bahía asociada a la formación de fenómenos de mesoescala como giros, meandros y filamentos (Torres-Hernández, *et al.* 2022), que presentan una alta correlación con la riqueza biológica observadas en la BLPZ (Turrent, C. y O. Zaitsev, 2014; Reyes-Salinas *et al.*, 2003).

Los altos índices de Chl-*a* observadas durante un ciclo anual en la BLPZ, se mantienen gracias al patrón de circulación y forzamiento del viento presentes en la bahía, aunado a su aislamiento natural, protegida de forma natural por grandes islas, islotes y cadenas montañosas cercanas a la costa, sin el aporte de ríos ni el efecto antropogénico asociado a grandes asentamientos humanos. Lo anterior hace que la bahía, sostenga una diversa megafauna, incluyendo al menos 16 especies de cetáceos con afinidades subtropicales y templadas (Pardo *et al.*, 2013).

El impacto frecuente de CTs en sitios someros como la BLPZ han tenido efectos tanto directos como indirectos en sus comunidades ecológicas. Los efectos directos incluyen el desplazamiento geográfico de algunas comunidades, mortalidad

por la exposición a los vientos huracanados, oleaje de gran altura, lluvias y marejadas ciclónicas, erosión de playas y dinámica de sedimentos. Los efectos indirectos se hacen evidentes después de la tormenta e incluyen la pérdida de sustrato, de sitios de anidación y desove de tortugas marinas y una mayor vulnerabilidad a la depredación y cambios en el microclima. Un ejemplo es el desplazamiento de las poblaciones de aves por la afectación y sucesión de plantas en bosques, manglares y palmares dañados por las tormentas (Wiley and Wonderle, 1993) o la mortandad por inundación de nidos de tortugas marinas (Milton *et al.*, 1994).

En la capa superior del océano se observa días después del paso de CTs, un incremento sustancial en el afloramiento de algunos grupos de fitoplancton a lo largo de sus trayectorias. En otros casos, meses después, se observan cambios en los grupos principales de

dinoflagelados (Salazar-Vallejo et al., 2002) asociados a la presencia de florecimientos algales nocivos (mareas rojas). La Figura 1 muestra un ejemplo del afloramiento de Chl-*a* observada a partir de imágenes de satélite MODIS-Aqua a lo largo de la trayectoria del huracán Norbert en 2008 (3 al 12 de octubre del 2008) el cual tocó tierra en la costa occidental de Baja California Sur con vientos máximos sostenidos de 120 a 165 km/h y rachas de 205 km/h cruzando el estado y reemergiendo al Golfo de California (GC).

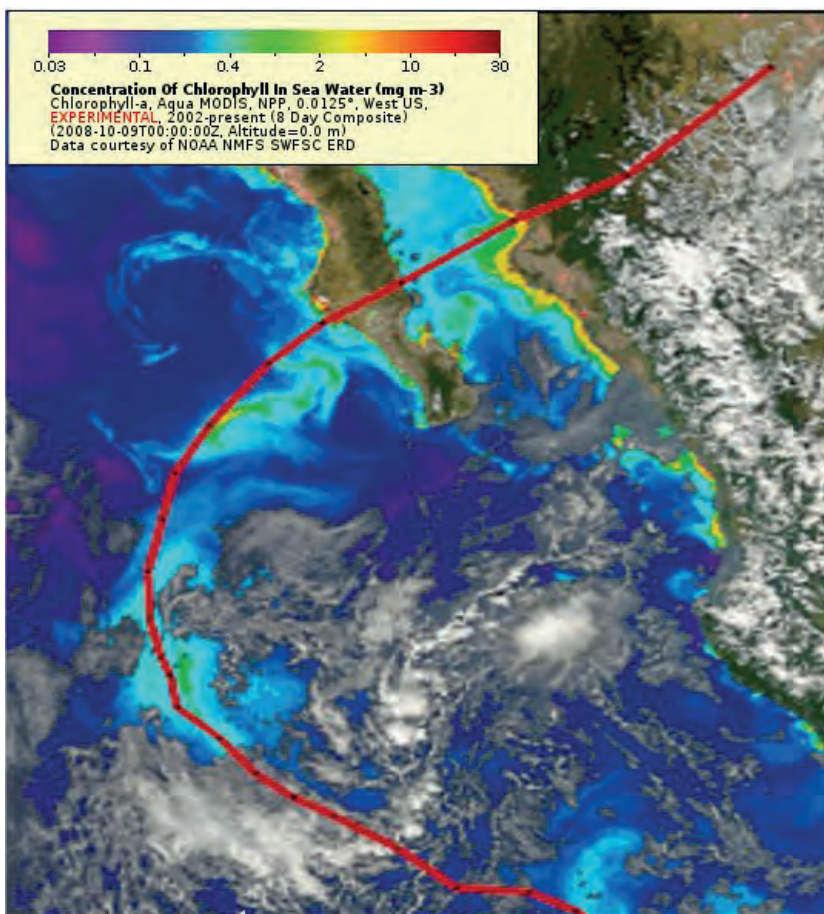


Figura 1. Trayectoria del huracán Norbert (en rojo) del 4 al 12 de octubre del 2008 y su efecto sobre la Clorofila a superficial observada a partir de imágenes diarias del satélite MODIS-Aqua. Tomado de la página de internet de la NOAA (https://www.nhc.noaa.gov/data/tcr/EP152008_Norbert.pdf).

Estaciones Meteorológicas Autónomas (EMAs)

Desde 2015, CICESE-Unidad La Paz y el Programa de Ecología Pesquera de CIBNOR, implementaron una Red de EMAs en la BLPZ. El Proyecto Interno CICESE-ULP # 691109; *Laboratorio Ambiental para el estudio de la variabilidad Océano-Atmósfera en la Bahía de La Paz, B.C.S: Implicaciones sobre las comunidades ecológicas*, tiene como objetivo principal monitorear de forma continua, el forzamiento del viento y su relación con las condiciones hidrográficas que generan la riqueza biológica de la Bahía de La Paz (Herrera-Cervantes et al., 2017). La Figura 2 muestra la ubicación geográfica de las EMAs (triángulos en rojo); las estaciones San Evaristo (SEV) y El Portugués (POR), se ubican en el norte de la bahía, en el ascenso y descenso de la sierra El Mechudo, región montañosa de difícil acceso con un pronunciado gradiente altitudinal (~ 900 m de altitud). La estación Isla Ballena (IBA) se ubica en el extremo oeste del archipiélago Espíritu Santo, área natural protegida y declarado por la UNESCO en 2005, como patrimonio natural de la humanidad (convenio específico con la oficina de la Comisión de Áreas Naturales Protegidas, Archipiélago de Espíritu Santo, SEMARNAT, 2014). Dicho islote, es un punto ideal para la observación de variables ambientales

y de las poblaciones de aves marinas que lo utilizan como zona de anidación. Las estaciones EL Mogote (MOG) y CIBNOR (CIB) se ubican en el extremo sur de la bahía. La estación MOG se ubica sobre la barra arenosa natural del mismo nombre que protege a la ensenada y ciudad de La Paz y la estación CIB en la playa El Comitán dentro de las instalaciones del CIBNOR.

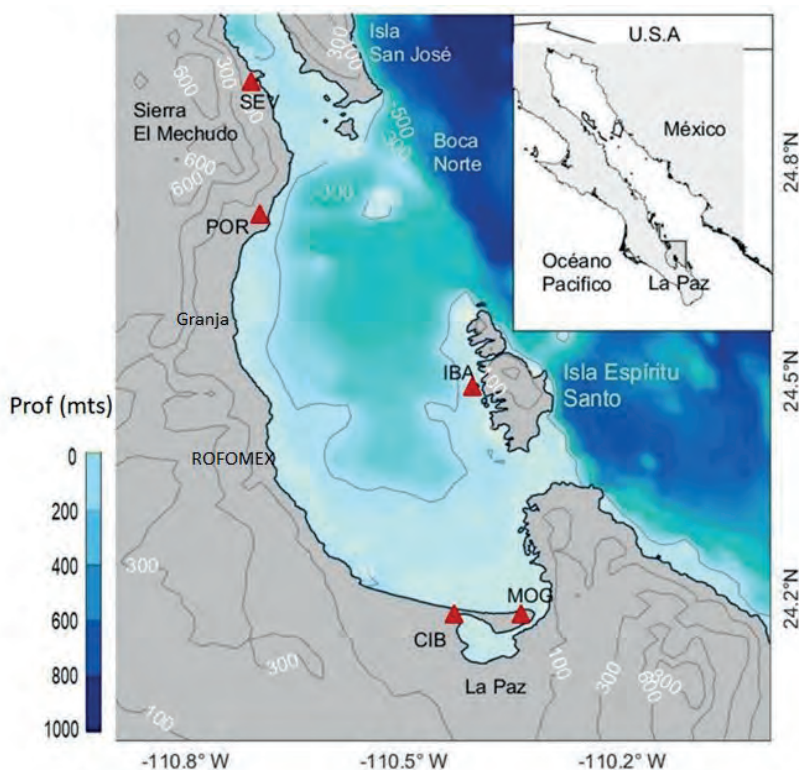


Figura 2. Red de Estaciones Meteorológicas (triángulos en rojo) y características topográficas y batimétricas de la Bahía de La Paz. El recuadro en la parte superior derecha indica la posición de la Bahía en el Golfo de California.

La Figura 3 muestra un registro fotográfico de la etapa de instalación de las estaciones Meteorológicas Vantage Pro2 de la marca Davis Instruments en su versión inalámbrica (Figura 3, panel superior derecho). Cada estación incluye sensores de temperatura, humedad relativa, colector de lluvia y un anemómetro integrado en un solo conjunto de sensores para la velocidad y dirección del viento además de sensores de radiación solar y radiación UV programados para el registro de datos cada hora. Los datos se almacenan en archivos individuales por cada

EMA y se publican en la página de internet <https://ulp.cicese.mx/hugo-herrera/>. La estación CIB, pertenece a la Red de estaciones Mareográficas y Meteorológicas costeras de CICESE (<http://redmar.cicese.mx/>), estación meteorológica Automática de la marca Vaisala (Fig. 3, panel inferior derecho) que registra los datos de viento (velocidad y dirección) cada minuto en base a un arreglo de tres transductores sónicos en el plano horizontal. Los datos se grafican y almacenan en tiempo casi real y se publican en su página de internet (<https://ulp.cicese.mx/condiciones-ambientales-observadas-en-la-bahia-de-la-paz/>).

Ambos modelos de estaciones meteorológicas son ideales para el registro de variables atmosféricas en zonas con condiciones extremas de clima como la BLPZ, donde a lo largo del año se presentan eventos extremos como el ingreso de frentes fríos durante el invierno, brisas marinas durante los meses de primavera - verano

(Coromueles; Torres-Hernández, et al., 2022), altas temperaturas ($> 34^{\circ} \text{C}$) y el paso de huracanes y tormentas tropicales durante el verano.



Figura 3. Registro fotográfico de los 5 sitios donde se ubican las EMAs a lo largo de la bahía de La Paz. Las estaciones SEV, POR, IBA Y MOG utilizan estaciones Davis Vantage Pro2 (panel superior derecho) y en CIB una estación Vaisala (panel inferior derecho).

Tormenta tropical Lidia (30 agosto al 5 de septiembre, 2017)

El 31 de agosto del 2017 se ubicó a 40 km al sursureste del municipio de Los Cabos, B.C.S. (Figura 4, panel superior), descargando gran cantidad de lluvia ($> 250 \text{ mm}$), vientos fuertes (105 km/h y rachas de 120 km/h) y oleaje alto sobre el extremo sur de la península de Baja California (CONAGUA, 2017), provocando daños considerables en el municipio de Los Cabos. El día 01 de septiembre Lidia tocó tierra en las costas del océano Pacífico, a 40 km al oeste de la BLPZ, registrando vientos de 115 km/h siguiendo una trayectoria en tierra a lo largo del estado de Baja California Sur para emerger nuevamente al Océano Pacífico el 2 de septiembre en la Bahía Sebastián Vizcaino en el paralelo 28°N . La Figura 4 (panel inferior) muestra las series de tiempo de la velocidad y rachas de viento registrados en las EMAs; SEV, POR y CIB. El reporte CONAGUA, 2017, describe que el 31 de agosto

del 2017, la tormenta tropical Lidia se localizaba próxima a la estación CIB donde se registraron cambios en la velocidad y dirección del viento desde la tarde del 30 y durante el 31 de agosto con velocidades máximas de 15.6 a 20.2 m s⁻¹. La estación POR, mostró una diferencia considerable en el incremento en la velocidad del viento desde el 30 y 31 de agosto (19.2 a 22.4 m s⁻¹) con rachas de 28.6 a 33.1 m s⁻¹ (~ 120 km/h), esto último debido principalmente a la altura donde se ubicó el anemómetro de POR (~50 m). En la mañana del 01 de septiembre (~07:00 h), Lidia se

localizó en tierra, en su punto más cercano a la estación SEV registrando velocidades de ~11.2 a 15.6 m s⁻¹ y rachas de ~19.2 a 25.5 m s⁻¹ (~ 95 km/h) durante las primeras 12 h del 01 de septiembre (Tabla 1). Para la tarde del 01 de septiembre (~19:00 h) las EMAs presentaron vientos débiles de 5 m s⁻¹, dando por concluida la influencia de Lidia en la BLPZ.

La Figura 5 (panel superior) muestra en forma vectorial los cambios en la dirección del viento en CIB, POR Y SEV durante el paso de la T. T. Lidia. El 30 y 31 de agosto, CIB y POR mostraron cambios continuos en la dirección del viento desde el 29 de agosto, alternando entre el segundo y cuarto cuadrante. El día 30 de agosto se registraron vientos del suroeste que cambiaron de forma drástica hacia el noroeste y norte durante el día 31 de agosto y el 01 de septiembre. SEV registró los efectos de Lidia durante el 31 de agosto y 01 de septiembre. El panel inferior, representa los valores de velocidad y dirección

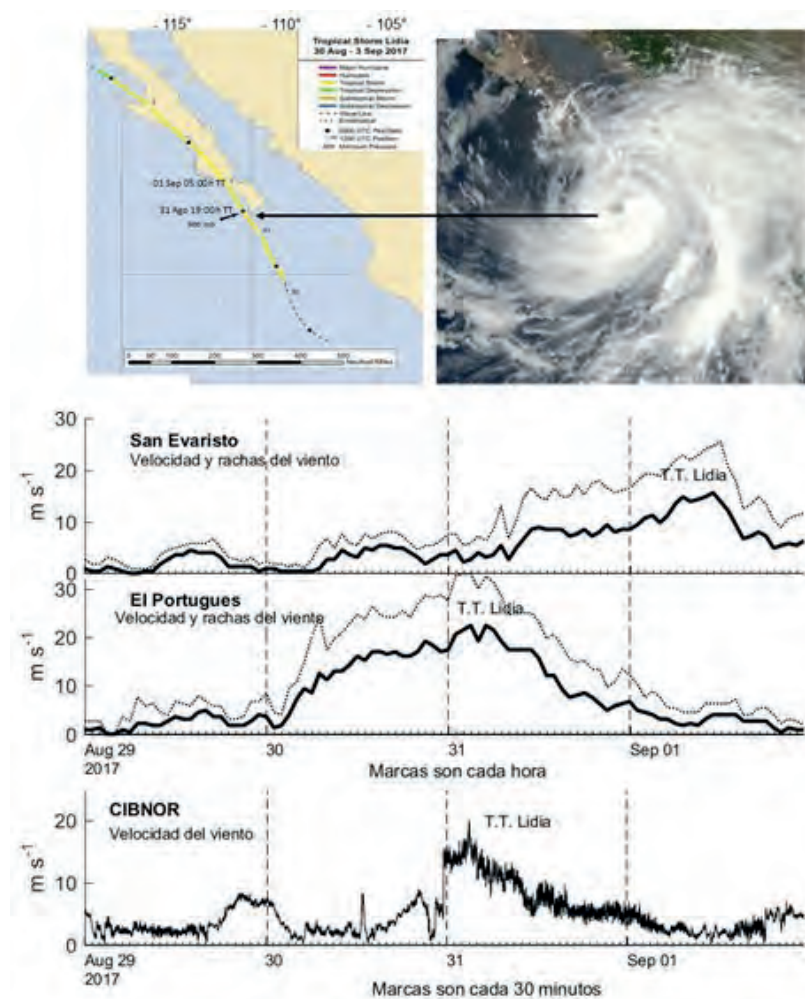


Figura 4. Panel superior, Trayectorias de la tormenta tropical Lidia y su correspondiente imagen del satélite GOES 17 (Reportes NOAA y CONAGUA, 2017). Panel inferior, series de tiempo de la velocidad y rachas (línea punteada) del viento medida durante el paso de la T. T. Lidia (del 29 de agosto al 01 de septiembre) en 3 EMAs; San Evaristo (SEV), El portugués (POR), y CIBNOR (CIB).

del viento medidos en SEV, POR y CIB en un esquema de rosa de los vientos, mostrando con barras o extensiones que van desde el centro de un círculo hacia un punto determinado ilustrando

Tabla 1. Valores máximos diarios de velocidad y rachas de viento medidas en SEV, POR y CIB durante el paso de la T. T. Lidia.

EMAs	29 de agosto		30 de agosto		31 de agosto		01 de septiembre	
	Vel.	Rachas (m s ⁻¹)	Vel.	Rachas (m s ⁻¹)	Vel.	Rachas (m s ⁻¹)	Vel.	Rachas (m s ⁻¹)
SEV	4.5	6.7	5.4	8.0	11.2	19.2	15.6	25.5
POR	4.9	8.0	19.2	28.6	22.4	33.1	4.0	8.9
CIB	8.4	---	15.6	---	20.2	---	1.4	---

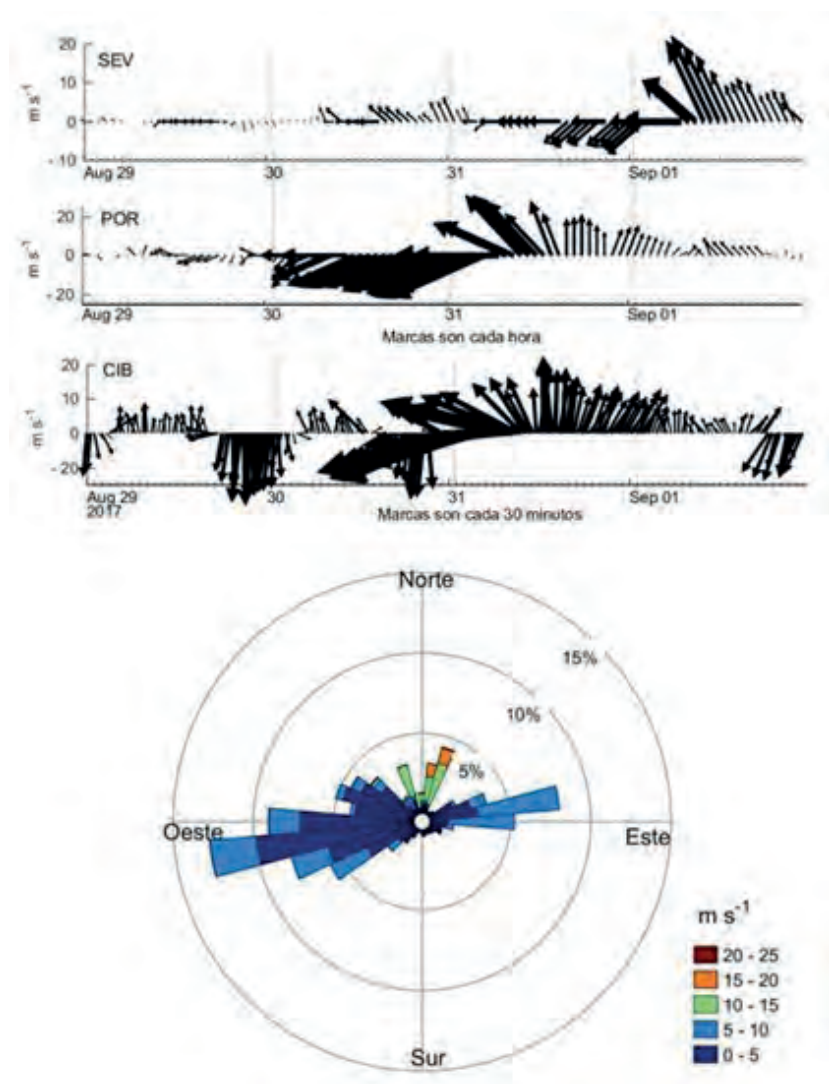


Figura 5. Panel superior: Vectores mostrando los cambios en la dirección del viento durante el paso de la T. T. Lidia (29 de agosto al 01 de septiembre de 2017) en SEV, POR, y CIB (la punta del vector indica la dirección de donde sopla el viento). El panel inferior muestra el esquema de rosa del viento del condensado de datos de velocidad y dirección del viento de SEV, POR, y CIB durante el mismo período.

la dirección del viento mientras que la longitud de cada extensión indicará el porcentaje de tiempo en el que el viento se dirigió hacia esa dirección (Ahrens, 1998). La dirección y velocidad de mayor ocurrencia del viento durante la T. T. Lidia fue del primer y tercer cuadrante (eje norte-este-noroeste) con velocidades moderadas predominantes de ~10.0 a 15.0 m s⁻¹, mientras las máximas velocidades (>20.0 m s⁻¹), muestran una dirección predominante del norte asociada a los registros de la estación CIB en 31 de agosto.

Huracán Lorena (19 al 22 de septiembre, 2019)

El H. Lorena (Figura 6, panel superior) tocó tierra por primera vez en las costas de Jalisco el 19 de septiembre del 2019, se debilitó a tormenta tropical para retomar categoría de huracán al entrar en aguas del GC. El 21 de septiembre el Huracán Lorena tocó tierra nuevamente en el poblado

de La Ventana del municipio de La Paz desplazándose hacia el noroeste paralelo a la BLPZ y debilitándose a tormenta tropical al interactuar con las zonas altas de El Mechudo y la sierra La

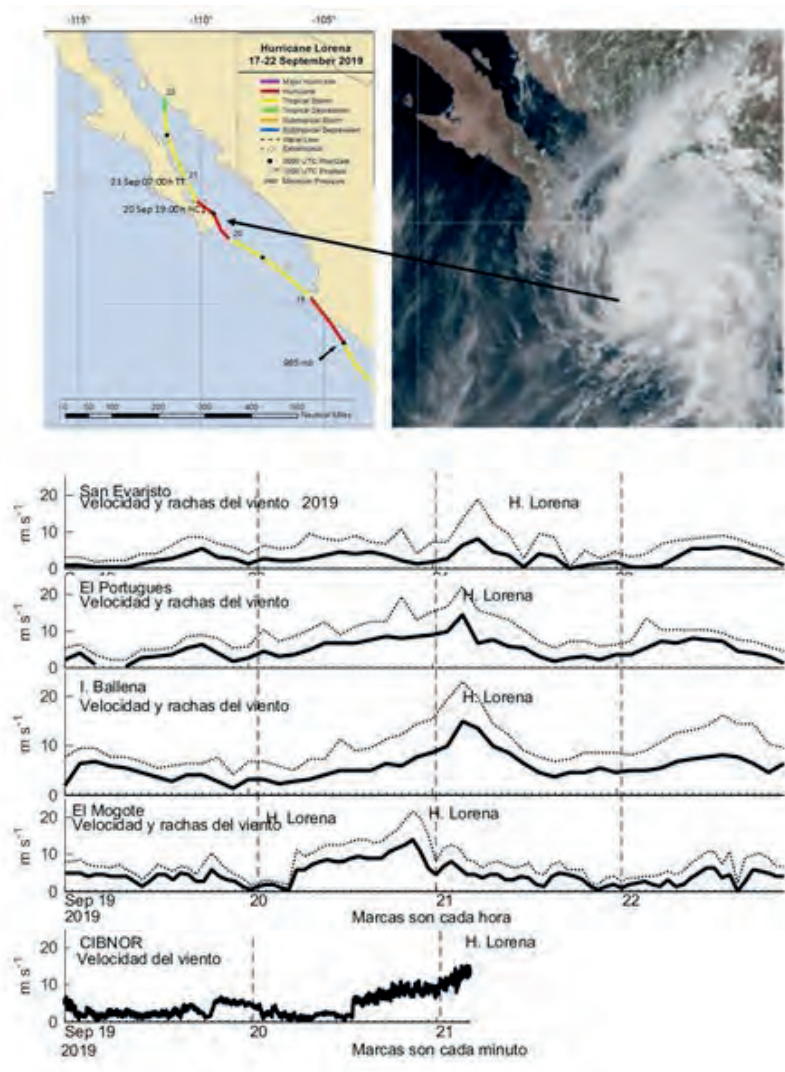


Figura 6. Panel superior, Trayectoria del Huracán Lorena y su correspondiente imagen del satélite GOES 17 (Reportes NOAA y CONAGUA, 2019). Panel inferior, series de tiempo de la velocidad y rachas (línea punteada) del viento medidas durante el paso del H. Lorena (19 al 22 de septiembre de 2019) en SEV, POR, IBA, MOG y CIB (registros interrumpidos el 21 de septiembre).

Giganta. El huracán Lorena se degradó a baja presión al cruzar el GC hacia el norte de Guaymas, Sonora el 22 de septiembre (CONAGUA, 2019). La velocidad y rachas de viento registrados en CIB (al inicio del evento), MOG, POR, IBA y SEV se muestran en el panel inferior de la Figuras 6. La estación MOG mostró cambios en la velocidad del viento desde la noche del 20 de septiembre,

IBA y POR en la mañana del 21 de septiembre con velocidades del viento de 8.5 a 14.5 m s⁻¹ y rachas máximas de ~22.8 m s⁻¹ (~70-82 km/h). La estación SEV, mostró velocidades moderadas solo durante el día 21 de septiembre (~ 8.0 m s⁻¹) y rachas de ~18.8 m s⁻¹. Los valores máximos en velocidad y rachas de viento diarias se presentan en la Tabla 2.

La Figura 7 (panel superior) muestra en forma vectorial los cambios en la dirección del viento en MOG, POR, IBA y SEV durante el paso del huracán Lorena. Las estaciones MOG, IBA y POR registraron los cambios más fuertes en la dirección del viento durante el 20 y la mañana del 21 de septiembre con vientos del segundo y tercer cuadrante (del sur y sureste que cambiaron al norte y noreste) con velocidades y rachas de 8.9 a 22.8 m s⁻¹. La estación SEV mostró los efectos de Lorena solo durante la mañana del 21 de septiembre con vientos del segundo y tercer cuadrante (del sureste que cambiaron al

Tabla 2. Valores máximos diarios de velocidad y rachas de viento medidas en SEV, POR, IBA y MOG durante el paso del H. Lorena.

EMAs	19 de septiembre		20 de septiembre		21 de septiembre		22 de septiembre	
	Vel. (m s ⁻¹)	Rachas (m s ⁻¹)	Vel. (m s ⁻¹)	Rachas (m s ⁻¹)	Vel. (m s ⁻¹)	Rachas (m s ⁻¹)	Vel. (m s ⁻¹)	Rachas (m s ⁻¹)
SEV	5.4	8.5	4.5	10.7	8.0	18.8	5.8	8.9
POR	6.3	8.9	8.5	19.2	14.3	21.9	8.0	13.4
IBA	6.7	9.4	7.6	14.3	14.8	22.8	3.6	16.1
MOG	5.8	10.3	13.9	21.5	10.7	19.7	6.3	10.7

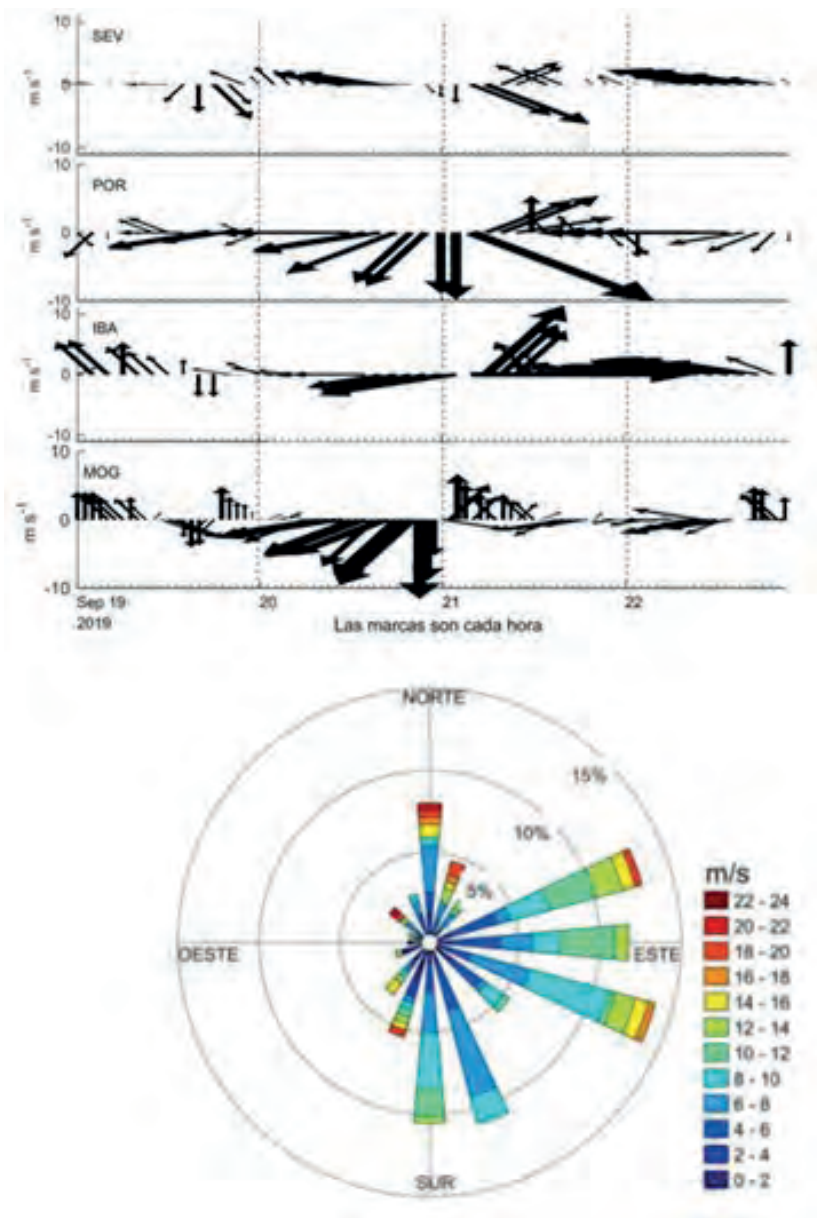


Figura 7. Panel superior: Vectores mostrando los cambios en la dirección del viento durante el paso del Huracán Lorena (19 al 22 de septiembre de 2019) en 4 puntos de la BLPZ; SEV, POR, IBA y MOG (la punta del vector indica la dirección de donde sopla el viento). El panel inferior muestra el correspondiente esquema de rosa del viento del condensado de datos de velocidad y dirección del viento.

norroeste) con velocidades y rachas de 8.0 a 18.8 m s⁻¹ (~ 68 km/h). La representación en rosa de los vientos de los datos registrados en SEV, POR, IBA y MOG se muestra en el panel inferior de la Figura 7. La mayor ocurrencia del viento durante el paso del H. Lorena fue del primer y segundo cuadrante (norte-este y sursureste) con velocidades predominantes de ~15-20 m s⁻¹, mientras las máximas velocidades (>20 m s⁻¹) se asocian a los vientos del norte y noroeste registrados en las estaciones MOG, IBA y POR con algunos periodos cortos del tercer y cuarto cuadrante.

La productividad primaria de la BLPZ antes y después del paso de CTs

La Figura 8 muestra la distribución espacial promedio de la Chl-*a* en la BLPZ 8 días antes del impacto de la T. Lidia (25 de agosto panel izquierdo). En ella se observan valores >0.5 mg m⁻³ a lo largo de las costas de la bahía. Días posteriores al paso de Lidia (8 de septiembre), se observó

un fuerte incremento en los valores de Chl-*a* (~ 1.0 a 3.0 mg m^{-3}) en toda la bahía (panel derecho), principalmente en la zona costera y en los límites con el GC. La Figura 9 muestra la distribución espacial promedio de la Chl-*a* en la BLPZ antes del paso del H. Lorena (09 de septiembre, panel izquierdo). Los valores oscilaron entre ~ 0.3 y 0.6 mg m^{-3} en la costa sur de la bahía. Después del paso del H. Lorena (27 de septiembre) se observa un incremento moderado en los valores de Chl-*a* (~ 0.5 a 1.2 mg m^{-3}) en las áreas costeras de la bahía y en los límites con el GC (panel derecho).

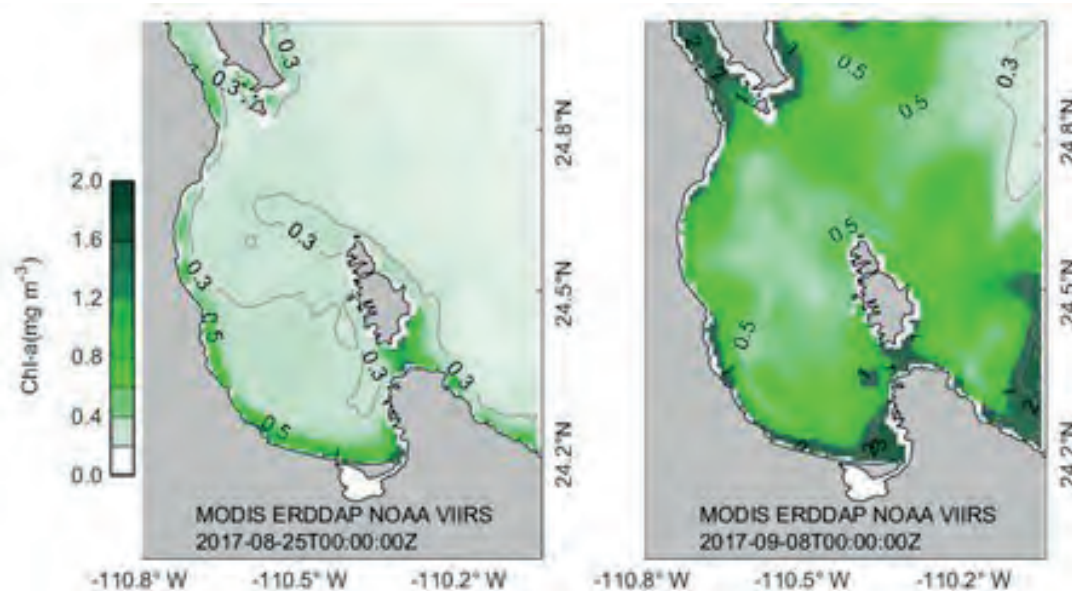


Figura 8. Imágenes promedio (8 días) del satélite MODIS-Aqua de Chl-*a* con resolución espacial de 750 m, (<https://coastwatch.pfeg.noaa.gov/erddap/index.html>), antes (25 de agosto, panel izquierdo) y después (8 de septiembre, panel derecho) del paso de la T. T. Lidia por la BLPZ.

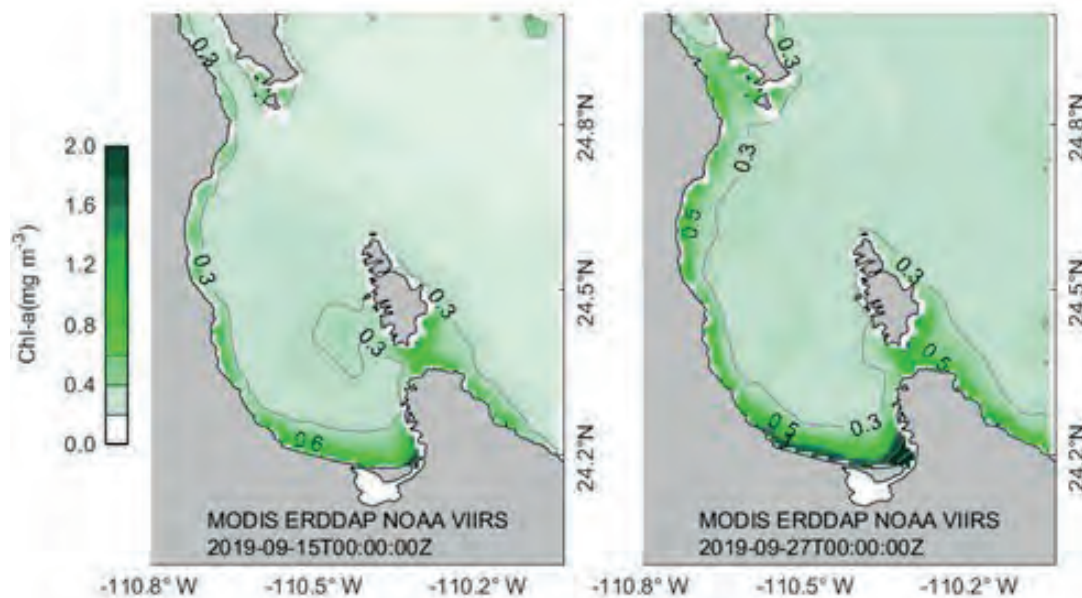


Figura 9. Imágenes promedio (8 días) del satélite MODIS-Aqua de Chl-*a* con resolución espacial de 750 m, (<https://coastwatch.pfeg.noaa.gov/erddap/index.html>), antes (15 de septiembre, panel izquierdo) y después (27 de septiembre, panel derecho) del paso del H. Lorena por la BLPZ.

Consideraciones finales

La alta ocurrencia de impactos de CTs (tormentas tropicales, ciclones y huracanes) en el extremo sur de la península de Baja California y específicamente en la BLPZ durante la época de verano, la hacen una de las regiones más vulnerables del noroeste de México a este tipo de fenómenos (Jaureguí, 2003). Estos impactos producen un incremento sustancial en el aporte de nutrientes y de la biomasa de fitoplancton (Lara-Lara et al., 2008) y en consecuencia en la productividad primaria superficial observada en base a imágenes de satélite días después de del paso de CTs.

La ubicación geográfica de la BLPZ y sus características morfológicas (área semicerrada y somera, con reducido cambio por mareas) la hacen vulnerable al impacto de CTs desde ambas costas de la península, como se observó en los resultados mostrados en este estudio. Un desafío para la investigación ambiental es entender cómo se comporta el forzamiento del viento (velocidad y dirección) bajo diferentes trayectorias de CTs y su relación con los incrementos de productividad primaria observados en la BLPZ, después del paso de este tipo de fenómenos atmosféricos.

Por lo anterior, es esencial incentivar el establecimiento del monitoreo continuo de variables ambientales para tratar de analizar los cambios que se presentan tanto en el paisaje como en los ecosistemas costeros posteriores al paso de CTs. El esfuerzo por mantener la Red de EMAs en la BLPZ, por instituciones como CICESE y CIBNOR, nos permitió analizar cómo cambió de forma drástica y repentina el viento durante los eventos ciclónicos analizados, lo que generó oleaje de gran altura e intensidad cuyos efectos repercuten en la generación de turbulencia en la capa marina superior, resuspensión de sedimentos, cambios en la línea de costa y el arrastre y muerte de organismos que no

pueden escapar al movimiento energético del agua (Salazar-Vallejo et al., 2002). Estudios recientes muestran una pérdida de resiliencia durante cambios drásticos en las condiciones ambientales de los ecosistemas (Scheffer et al., 2001). Esto sugiere retos en las estrategias de las autoridades competentes para mitigar los efectos de los CTs en la BLPZ, que incluye al Archipiélago Espíritu Santo, considerada como área natural protegida (CONANP, 2020).

Agradecimientos

A la coordinación de CICESE-ULP por apoyar la continuidad del Proyecto Interno CICESE-ULP # 691109: *Laboratorio Ambiental para el estudio de la variabilidad Océano-Atmósfera en la Bahía de La Paz, B.C.S, Implicaciones sobre las comunidades ecológicas*. Al Programa de Ecología Pesquera (PEP), Laboratorio de Modelación y Pronóstico Pesquero de CIBNOR por el apoyo en la instalación y mantenimiento de las EMAs.

A la Biol. Irma González López, directora del Parque Nacional Archipiélago de Espíritu Santo de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) por el permiso otorgado. Al Sr. Félix Amador (Don Tele, EPD) de San Evaristo, BCS. Al Capitán de la embarcación Argos II, Hernando Torres, al Geofis. Raúl Ochoa y al Lic. Carlos Pacheco de CIBNOR, por su participación en el trabajo de campo.

Literatura citada

- Ahrens, C.D. 1998. *Essentials Of Meteorology: an invitation to the atmosphere*. 2nd edition. Wadsworth Publishing Company. United States. ISBN 0-534-53766-9. 463 pp.
- CONAGUA. 2017. *Ciclones Tropicales 2017. Tormenta Tropical "Lidia" del Océano Pacífico*. Del 29 de agosto al 3 de septiembre de 2017. En <https://smn.conagua.gob.mx/tools/DATA/Ciclones%20Tropicales/Ciclones/2017-Selma.pdf>.
- CONAGUA. 2019. *Ciclones Tropicales 2019. Tormenta Tropical "Lorena" del Océano Pacífico. Del 17 al 22 de septiembre del 2019*. <https://smn.conagua.gob.mx/tools/DATA/Ciclones%20Tropicales/Resumenes/2019.pdf>.
- Herrera-Cervantes, H., E. Beier y E. Balart. 2017. *Red de Monitoreo Ambiental para el estudio de la variabilidad Océano-Atmósfera en la Bahía de La Paz, BCS, México*. RECURSOS NATURALES Y SOCIEDAD. https://doi.org/10.18846/renaysoc.2017.03.03.02.000.*2
- 1 Centro
- Herrera-Cervantes, H. 2019. *Sea surface temperature, ocean color and wind forcing patterns in the Bay of La Paz, Gulf of California: Seasonal variability*. *Atmósfera* 32(1): 25-38.
- Jaureguí, E. 2003. Climatology of landfalling hurricanes and tropical storms in Mexico. *Atmósfera* 16(4): 193-204.
- Milton, S. L., Leone-Kabler, S., Schulman, A. A., & Lutz, P. L. 1994. Effects of Hurricane Andrew on the sea turtle nesting beaches of South Florida. *Bulletin of Marine Science*, 54(3), 974-981.
- NOAA. 2017. *Tropical Cyclone Report. Tropical Storm Lidia (EP142017)*. https://www.nhc.noaa.gov/data/tcr/EP142017_Lidia.pdf.
- NOAA. 2019. National Weather Center. National Hurricane Center. *Tropical Cyclone Report. Hurricane Lorena (EP152019)*. https://www.nhc.noaa.gov/data/tcr/EP152019_Lorena.pdf.
- Pardo, M.A., N. Silverberg, D. Gendron, E. Beier y D.M. Palacios. 2013. Role of environmental seasonality in the turnover of a cetacean community in the southwestern Gulf of California. *Marine Ecology Progress Series* 487: 245-260. <https://doi.org/10.3354/meps10217>.



- Reyes-Salinas, A., R. Cervantes-Duarte, R. A. Morales-Pérez, y J. E. Valdez-Holguín. 2003. *Variabilidad estacional de la productividad primaria y su relación con la estratificación vertical en la Bahía de La Paz, BCS*. Hidrobiológica 13(2): 103-110.
- Salazar-Vallejo, S. I. 2002. *Huracanes y biodiversidad costera tropical*. Revista de Biología Tropical 50(2): 415-428.
- Scheffer, M., S. Carpenter, J. A. Foley, C. Folke y B. Walker. 2001. *Catastrophic shifts in ecosystems*. Nature 413: 591–596. <https://doi.org/10.1038/35098000>.
- SEMARNAT. 2014. Programa de Manejo Parque Nacional exclusivamente la zona marina del Archipiélago de Espíritu Santo. www.semarnat.gob.mx, www.conanp.gob.mx
- Torres-Hernández, M. Y., A. Trasviña-Castro, A. R. Rosales-Villa y A. J. Souza. 2022. *Dynamics of the surface circulation of La Paz Bay, Mexico*. Continental Shelf Research 235 (15): 1-10, <https://doi.org/10.1016/j.csr.2022.104664>.
- UNESCO. 2005. *Islands and Protected Areas of the Gulf of California*. <http://whc.unesco.org/es/list/1182>.
- Turrent, C. y O. Zaitsev. 2014. *Seasonal cycle of the near-surface diurnal wind field over the Bay of La Paz, Mexico*. Boundary-Layer Meteorology 151: 353–371. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2022.104664>.
- Wiley, J. W. y J. M. Wunderle. 1993. *The effects of hurricanes on birds, with special reference to Caribbean islands*. Bird Conservation International 3(4): 319-349.

Cita de artículo:

Herrera Cervantes H. y A. Aguirre Estrada. Interacción de ciclones tropicales, viento y productividad primaria en la bahía de la Paz, B.C.S. Recursos Naturales y Sociedad, 2023. Vol. 9 (2): 107-120. <https://doi.org/10.18846/renaysoc.2023.09.09.02.0009>

Sometido: 19 de mayo de 2023

Aceptado: 3 de julio de 2023

Editora ejecutiva: Dra. Crisalejandra Rivera Pérez

Editor asociado: Dr. Raúl O. Martínez Rincón

Diseño gráfico editorial: Lic. Gerardo Hernández