

Artículo

Comparación de la temperatura, precipitación, velocidad media y dirección del viento medidas por dos estaciones meteorológicas, ubicadas en Punta de Piedras, isla de Margarita

Luis Medina, Ramón Varela y Fresdo Velásquez

Resumen. Se compararon estadísticamente mediciones tomadas con una estación meteorológica clásica y una automática ubicadas en una misma localidad durante el periodo 2006–2008, con el objetivo de determinar si existen diferencias significativas entre ambas, y establecer un criterio que valide la continuidad del uso de los datos para la construcción de una serie de tiempo única. Fueron encontradas diferencias significativas entre las medias diarias en todas las variables estudiadas, excepto la precipitación. Por otra parte, las medias mensuales de la velocidad media del viento (VMV) calculadas para las dos estaciones no presentaron diferencias significativas, esto, junto a los elevados valores obtenidos para el coeficiente de consistencia de la VMV pueden validar el uso de ambos grupos de datos para la construcción de una serie de tiempo única y homogénea de la VMV. La disparidad en las mediciones de las variables meteorológicas, pudieran deberse a los sesgos ocasionados por las distintas tecnologías aplicadas a los sensores, a la longevidad de los equipos y la falta de mantenimiento de los mismos o a la ubicación de las estaciones meteorológicas, cercanas pero instaladas sobre sustratos diferentes, tierra y agua. Además, la exposición constante de estos instrumentos a la humedad, corrosión, y la radiación solar puede disminuir su exactitud. El uso del coeficiente de consistencia para validar la homogeneidad de los datos depende de cada variable, pero es una adecuada herramienta cuando se usa en conjunto con otras pruebas estadísticas.

Palabras claves. Análisis comparativo. Datos meteorológicos. Estaciones meteorológicas. Coeficiente de consistencia.

Comparison of temperature, precipitation, average wind speed and direction, measures for two weather stations located in Punta de Piedras, Isla Margarita

Abstract. In this work, measurements taken with a classic and an automatic meteorological station in a same locality during the period of 2006–2008 were compared, in order to determine whether there are significant differences between the two and try to establish a criterion to validate the continuity of the data. Significant differences in the daily data were found in all variables studied, except precipitation. On the other hand, average wind speed monthly measurement for both stations did not show significant statistical differences. This, together with the higher values of the consistency coefficient could validate the use of these set of data for the construction of unique time series for the average wind speed. The differences found it in the meteorological variables could be due to bias caused by the different technologies for sensors, longevity of equipment, lack of maintenance, or the location of the stations (different substrates, on land or water). In addition, constant exposure of these instruments to moisture, corrosion, and solar radiation can decrease their accuracy. Using the consistency coefficient to validate the homogeneity of data depends on each variable and is a good tool used in conjunction with other statistical analysis.

Key words. Comparative analysis. Meteorological data. Meteorological stations. Consistency coefficient.

Introducción

La información meteorológica es primordial para muchas actividades socio-económicas, establecer factores de riesgo y previsión de recursos hídricos y alimentarios. La mayor parte de la información meteorológica sigue obteniéndose de estaciones en localidades donde por décadas se han registrado las variables básicas de la climatología, aunque hoy en día existan otros medios remotos como los satélites, radares, etc., para obtener información equivalente. En épocas recientes el análisis de la información meteorológica ha obtenido notabilidad debido a las observaciones que indicarían un cambio rápido y global del clima.

Para determinar estos posibles cambios, la información tiene que estar basada en datos confiables y precisos, ya que es inadecuado cuantificar procesos ambientales a largo plazo sin previamente determinar los posibles sesgos en las mediciones. El advenimiento de nuevas tecnologías para la adquisición, manejo, procesamiento e interpretación de los datos, ha planteado nuevas interrogantes alrededor de cuán homogéneos son los datos provenientes de las mediciones históricas y de los nuevos sensores. En otras palabras, cuán amplios serían los sesgos al usar estos registros en conjunto para las evaluaciones de los cambios en el clima. Es por esto que la verificación de la homogeneidad de los datos es crítica a la hora de realizar estudios climáticos (Guttman y Baker 1996, Holder *et al.* 2006).

Es ahora frecuente la sustitución de los equipos convencionales de medición (mecánicos) por mecanismos automáticos (electrónicos). Sin embargo, la experiencia que se ha recabado en el análisis de las series convencionales y automáticas ha determinado que la sustitución de instrumentos mecánicos sería procedente una vez que se haya realizado una evaluación simultánea de ambas series de datos (Colotti *et al.* 2003, Gattinoni *et al.* 2011). La Organización Meteorológica Mundial (1989), propone como intervalo mínimo tres años de solapamiento, en el cual funcionen los dos sistemas en paralelo para poder realizar una comparación estadísticamente significativa y así validar el uso de los nuevos registros.

Por otra parte, algunas variables meteorológicas como la velocidad y la dirección del viento han sido relacionadas con la marcada estacionalidad de las características superficiales de la columna de agua en algunas regiones del océano, como lo son el oleaje, el nivel medio del mar, la circulación inducida por el viento y el fenómeno de surgencia. Este último de gran importancia ya que permite el transporte vertical de nutrientes desde aguas sub-superficiales hasta el estrato más superficial, promoviendo una alta productividad orgánica lo cual se traduce en una gran riqueza biótica para la región considerada (Muller-Karger y Aparicio 1994, Aparicio 2003, Astor *et al.* 2005). Es por esto que desde hace algún tiempo se ha planteado la necesidad de cuantificar la magnitud de este proceso. Hoy en día, después del trabajo pionero de Bakum (1973), se considera que el transporte costa-fuera de Ekman es un óptimo indicador de la intensidad de la surgencia costera inducida por el viento (Aparicio 2003). Entonces, para obtener estimaciones reales de este índice es necesario contar con mediciones

confiables y precisas de la dirección y velocidad del viento en estaciones cercanas a las costas, de aquí radica una de las principales razones para los estudios oceanográficos en contar con series de tiempo meteorológicas homogéneas.

La estación meteorológica clásica (EMC) de Punta de Piedras, en la Isla de Margarita, fue instalada por el cesado Ministerio de Obras Públicas (MOP) en terreno del Campus de Margarita de la Fundación La Salle de Ciencias Naturales en 1962. Desde ese entonces, esta institución se ha encargado de la lectura de los instrumentos, el proceso de los datos y la vigilancia de la misma. (Varela y Velásquez 2017).

Por otra parte, en el año 2006 fue instalada en el mismo campus una estación meteorológica automática (EMA) por iniciativa del Institute of Marine Remote Sciences de la Universidad del Sur de La Florida y la Estación de Investigaciones Marinas de Margarita, con el objetivo de complementar la información de la EMC, e ir implementando nuevas tecnologías que ofrecen otras ventajas como: alta resolución temporal de los datos, transmisión automática de los datos desde lugares remotos o de difícil acceso, reducción de los errores por parte del operador, etc. Las estaciones no están en el mismo sitio dentro del campus, pues la automática es marina (preparada para llevar un medidor de altura del mar) y se encuentra en una pequeña estructura sobre el agua cerca de un muelle a unos 500 m de distancia de la EMC, la cual está ubicada en tierra. Ambas estaciones han registrado información simultánea por ocho años, sin embargo, a finales del 2008, el anemómetro de la EMC dejó de funcionar y desde entonces esta estación no cuenta con datos de la velocidad media del viento.

Con el fin de tener un registro climático confiable y válido para el área de la Isla de Margarita y la fosa de Cariaco, zona de diversas investigaciones oceanográficas y con presencia de importantes pesquerías (Fréon *et al.* 2003a y 2003b, Rueda 2012, Muller-Karger *et al.* 2013), en el presente trabajo se realizó una comparación entre la EMC y la EMA para los registros de la temperatura del aire, la precipitación, la dirección y la velocidad media del viento entre septiembre 2006 y diciembre 2008. El análisis se enfocó en determinar si existieron diferencias estadísticamente significativas entre ambas estaciones y tratar de establecer un criterio que valide la continuidad de los datos para que puedan ser usados en el cálculo, visualización e interpretación de las otras variables meteorológicas y oceanográficas.

Materiales y métodos

Área de estudio

Margarita muestra características climáticas distintas según el ámbito geográfico en la isla, dependiendo de la orientación y la altura sobre el nivel del mar, que influyen en la precipitación, humedad, temperatura, exposición al sol y al viento. El municipio Tubores, donde se encuentra Punta de Piedras, se sitúa en la zona sur-occidental que es la más baja y seca de la isla, donde se manifiesta un tipo de vegetación xerófila de matorrales espinosos, que se extiende además por gran parte de la península de

Macanao y las otras islas menores al sur (Hoyos 1985). En este ambiente donde la costa es baja y poco expuesta al oleaje se desarrollan densos manglares de franja costera y sistemas lagunares.

La meteorología de la isla se encuentra regulada buena parte del año por un dominio de los vientos del E – NE provenientes del océano. La región insular clasifica dentro de un clima tropical (sistema de clasificación climática de Köppen) que, dependiendo de la localidad es, semi-árido o húmedo, siempre cálido (medias 27–28 °C) con épocas seca y lluviosa, con una marcada variabilidad estacional e interanual en la precipitación (promedio anual < 400 a 800 mm).

La temperatura diaria es determinada por la elevada insolación y numerosos días despejados producto de la influencia de los vientos alisios, con una acción eólica casi constante y sequía dentro del primer semestre del año, sin embargo, el segundo semestre presenta un clima más húmedo debido a un debilitamiento de los vientos y una mayor influencia del clima ecuatorial (Varela y Velásquez 2017).

Descripción de las estaciones meteorológicas

Estación meteorológica clásica (EMC; 10°54'13,9"N-64°06'29,7"O): la estación meteorológica de Punta de Piedras es de tipo C1, originalmente instalada por el cesado Ministerio de Obras Públicas (MOP), luego pasó a formar parte del sistema de estaciones meteorológicas del Ministerio del Ambiente (ahora Ministerio del Poder Popular para el Ecosocialismo y Aguas) con el serial 1740. En la actualidad es administrada por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH) en conjunto con Fundación La Salle de Ciencias Naturales Campus Margarita. La estación se encuentra a una elevación de 3 m s.n.m., en un sitio próximo a tres ambientes; marino-costero, lagunar con manglares y área de tierra plana semi-desértico con escasa vegetación.

Sus instrumentos de medición son los hoy considerados clásicos en este tipo de estaciones ya que estos son mecánicos, dotados de un sistema de relojería, y deben ser atendidos regularmente por un operador para realizar los cambios del material para el registro, verificar la calibración de los instrumentos y realizar las lecturas de las observaciones directas que corresponden al momento de recoger la información.

La EMC está dotada de nueve instrumentos para la medición de diferentes variables meteorológicas: la velocidad media y la dirección del viento se miden mediante un anemocinemógrafo marca Fuess. Su elemento sensible es la veleta, el flotador y juego de copas. Los datos originales se registran en km h⁻¹ y en decena de grados para la dirección. Además de estas variables, la EMC también mide, temperatura del aire mediante un termógrafo marca Siap y la precipitación utilizando un pluviógrafo marca Fuess.

Esta estación ha estado funcionando desde 1962; sin embargo, no hay registros de viento desde noviembre del 2008, debido a un mal funcionamiento del anemómetro. Para complementar esta serie de tiempo se han usado datos del viento provenientes de la estación meteorológica del aeropuerto Internacional Santiago Mariño en El Yaque

(10°91'00" N-64° 97'00" O; isla de Margarita) a 35 km al E de la estación de Punta de Piedras y los datos de la EMA.

Estación meteorológica automática (EMA; 10°54'00,1" N-64°06'37,5"O): ubicada en Punta de Piedras, Estado Nueva Esparta, bajo el cuidado de la Estación de Investigaciones Marinas (EDIMAR). Es del tipo automática, por lo tanto, no requiere de atención regular ni de lecturas directas a horas fijas. Está constituida por un conjunto de equipos electrónicos, que permiten medir en tiempo real el valor de cada variable meteorológica, estando en capacidad de procesar y almacenar estas variaciones en forma automatizada e incluso, enviar la información a un receptor remoto.

La estación mide ocho variables meteorológicas: velocidad media, máxima y dirección del viento son medidos con un anemómetro de veleta marca Young, mientras que la precipitación se estima mediante un pluviómetro marca Stevens. La temperatura se registra por un sensor (termistor) de platino. Un sistema de recuperación de datos (datalogger marca Campbell Scientific) toma las lecturas de los sensores cada 10 segundos, a los 6 minutos realiza un promedio de esos valores y arma el archivo de exportación en formato .CSV con el grupo de datos. Este es enviado vía radio hasta un terminal ubicado en el edificio de EDIMAR donde se descarga mensualmente y es procesado. Al mismo tiempo otro archivo de datos es transmitido cada hora al satélite geostacionario GOES-12 y descargados por The National Environmental Satellite Data and Information Service" (NESDIS), quien los reenvía a un satélite doméstico de telecomunicaciones (DOMSAT).

Análisis de los datos

Una vez obtenidos los archivos de datos de la EMA y la EMC (estos últimos generados por transcripción manual), se procedió a realizar el proceso de control calidad en búsqueda de datos fuera de rango y registros faltantes o duplicados. En base a los promedios diarios y mensuales de la velocidad media del viento y temperatura del aire, la suma diaria de la precipitación (solo se usaron para los cálculos los días que se registraron precipitaciones, valores > 0), se aplicó la prueba *t-student* para datos relacionados con el objetivo de probar si existían diferencias significativas entre las medias de los datos provenientes de la EMC y la EMA (Zar 1996). Para el análisis de los datos de dirección del viento fueron empleadas técnicas estadísticas para datos circulares (Mardia y Jupp 1999, Berens y Velasco 2009). Se calculó la media, mediana y la desviación estándar angular, además de la varianza, kurtosis y sesgo circular. También se aplicó la prueba Hodge-Aine, para determinar si los datos provenían de una distribución uniforme y así determinar si había diferencias significativas en su distribución.

Por otra parte, se calculó un índice de consistencia para los grupos de datos, este índice fue propuesto por Colotti *et al.* (2003) como un criterio para decidir si es necesario o no hacer ajustes a los nuevos datos obtenidos de modo automático con respecto a los convencionales o, si es necesario posponer la eliminación del dispositivo convencional hasta que haya certeza que las mediciones automáticas y convencionales

son lo suficientemente homogéneas. Este se basa en que tanto los datos medidos de manera convencional (equipo mecánico) y los datos medidos automáticamente (equipo electrónico) tienen igual valor esperado, es decir, están centrados alrededor del mismo valor. Ya que, si ambos equipos están midiendo el mismo fenómeno, después de repetidas mediciones el valor esperado deberá coincidir para ambos grupos de muestras.

Resultados

Velocidad media del viento (VMV)

El resumen estadístico de la VMV basado en los promedios diarios para ambas estaciones se puede apreciar en la tabla 1. La prueba *t-student* indicó que los valores promedios diarios de la VMV de ambas estaciones fueron significativamente diferentes ($t=-4,17$, $p<0,05$). A pesar de esta diferencia, el 50 % de las observaciones (420) realizadas por ambas estaciones se encuentran en el rango 4,6 m/s a 6,6 m/s (Figura 1). Sin embargo, 220 de los registros realizados por la EMA estuvieron en el rango 5,6 m/s a 6,6 m/s, mientras que la EMC presenta la mayor frecuencia de registros en el rango 4,6 m/s a 5,6 m/s, existiendo una mayor probabilidad de obtener registros superiores en la velocidad media del viento con la estación automática.

Tabla 1. Resumen estadístico para la velocidad del viento medida por la EMA y la EMC.

Velocidad Promedio del Viento (m/s)		
Estadístico	EMA	EMC
N	814	721
Mínimo	1,67	1
Máximo	9,99	9,16
Media	5,45	4,53
Mediana	5,52	4,83
Desviación estándar	1,64	1,56
Varianza	2,70	2,44
Coefficiente de variación	30,11%	30,58%
Kurtosis	-1,40	-1,99
Sesgo	-1,15	-0,55

Por otra parte, los estadísticos de dispersión (desviación estándar, varianza y coeficiente de variación) mostraron que las mediciones de la VMV de ambas estaciones fueron bastante homogéneas, presentando poca variabilidad. La prueba *f-Fisher* no mostró diferencias estadísticamente significativas con respecto a la desviación estándar de la VMV para la EMA y la EMC ($f= 0,905$ -, $p>0,05$).

El promedio diario de la VMV se puede observar en la figura 2. Este presenta una alta variabilidad inter-diaria para las dos estaciones, notándose que puede variar en un

amplio rango de un día a otro. Se puede apreciar también una clara estacionalidad anual en los valores del viento, con vientos generalmente más fuertes durante los primeros meses del año.

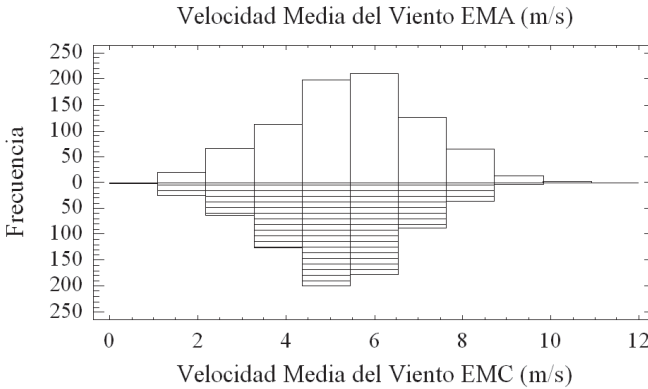


Figura 1. Histograma de frecuencia diaria de la velocidad media del viento para la EMA y la EMC.

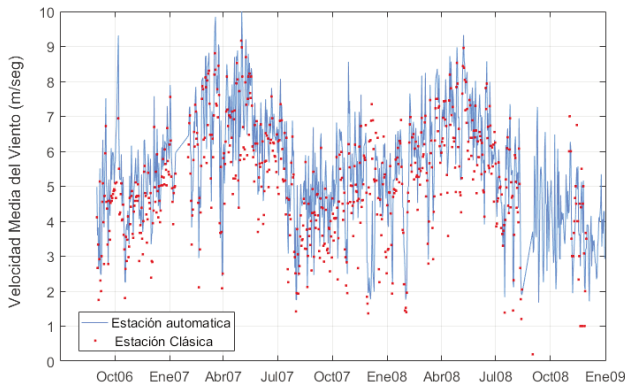


Figura 2. Registro del viento diario promedio para la EMA y la EMC.

Para las medias mensuales, la prueba *t-student* no mostró diferencias significativas entre la VMV para ambas estaciones ($t=-1,38$, $p= 1,181$). La figura 3 muestra los valores promedios mensuales de la VMV para el periodo de comparación (2006–2008). Los análisis de varianza realizados para ambas estaciones indicaron diferencias estadísticamente significativas de la VMV entre los meses de estudio ($f= 28,34$, $p<0,05$ (EMA) y $f= 28,20$, $p<0,05$ (EMC)). La prueba de rangos múltiples mostró la existencia de tres grupos con diferencias estadísticamente significativas. Un primer grupo que va desde febrero a junio (Figura 4), el cual presenta un promedio de la VMV en ascenso con

bastante heterogeneidad siendo todos los meses diferentes entre sí. Un segundo grupo, desde agosto hasta diciembre, el cual es bastante homogéneo en cuanto a los valores de la VMV no encontrándose disimilitud entre estos meses, siendo los vientos más débiles y constantes. Por último, enero y julio conformaron el tercer grupo, funcionando como meses de transición entre los periodos de máximos a mínimos vientos (julio) y al contrario (enero).

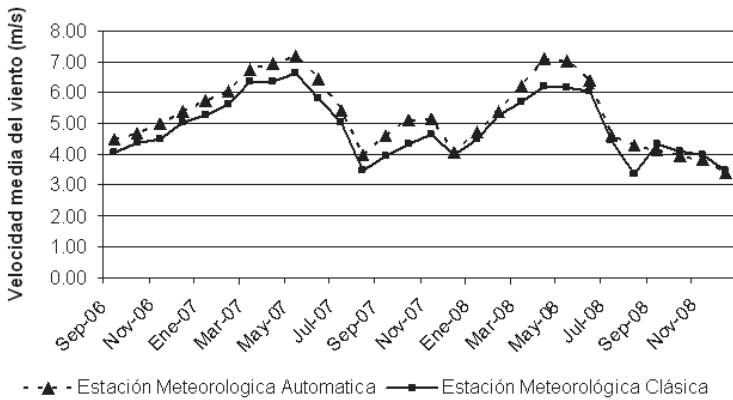


Figura 3. Valores mensuales de la velocidad media del viento para la EMA y la EMC.

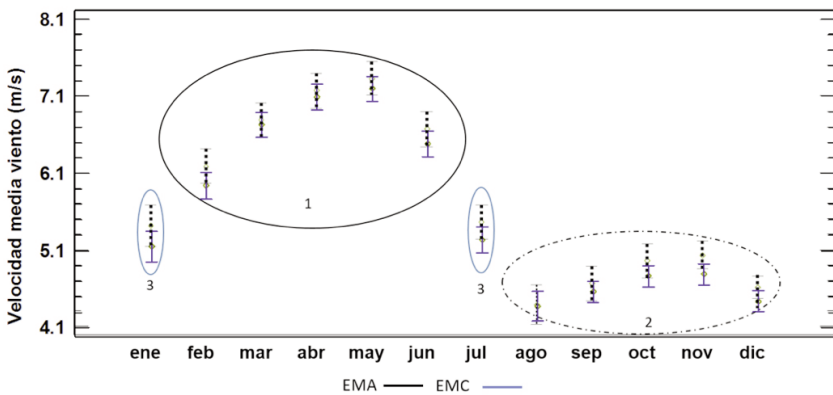


Figura 4. Promedios mensuales de las medias de la VMV.

Las mediciones realizadas por ambas estaciones meteorológicas presentan altos coeficientes de consistencia mensuales, sus valores fluctúan entre 63.55 % en abril 2008 y 97,73 % en enero 2007 (Tabla 2).

Tabla 2. Valores del coeficiente de consistencia (%) para la velocidad media del viento calculado para la EMA y la EMC.

	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
2006									95,19	89,61	91,48	97,51
2007	97,73	96,54	97,09	93,61	93,03	84,95	96,74	91,58	82,64	94,10	95,34	96,78
2008	96,63	97,67	94,92	63,55	96,12	85,71	95,31	96,38	94,45	97,56	68,52	86,23

Dirección del viento (DV)

La prueba *Hodge-Ajne* determinó que las muestras para ambas estaciones no se encuentran distribuidas uniformemente en todas las direcciones ($pr= 28,34$, $p<0,05$ (EMA) y $pr= 28,20$, $p<0,05$ (EMC)), lo que se puede apreciar gráficamente en la figura 5 para los datos diarios y en figura 6 para los mensuales, donde solo algunos valores caen dentro del semicírculo delimitado por los ángulos 180° – 270 – 0° . En cambio, la mayor parte de las mediciones de la dirección para ambas estaciones estuvieron dentro del rango 60° – 90° (Figuras 5 y 6), con una media circular para la EMA igual a $83,01$ y para la EMC igual a $75,76$; siendo este, en general el patrón direccional del viento predominante en la zona geográfica de la Isla de Margarita (Varela y Velásquez 2017). La figura 7, presenta el patrón temporal (frecuencia diaria) de la DV durante el periodo de estudio. A parte de la predominancia entre los 60° a 90° , se puede observar en ambas estaciones registros diarios con vientos provenientes de otras direcciones, en particular, en el segundo semestre de cada año, como también lo indican Varela y Velásquez (2017).

Tabla 3. Resumen de los estadísticos circulares calculados para la dirección del viento medida por la EMA y la EMC.

Dirección del Viento (grados)		
Estadístico	EMA	EMC
N	814	814
Mínimo	14	20
Máximo	249	360
Media angular	83,01	75,76
Mediana angular	81	70
Moda	80	70
Desviación angular estándar	17,80	23,12
Varianza circular	2,76	4,76
Kurtosis circular	51	48
Sesgo circular	-2,27	-0,11

Tabla 4. Valores del coeficiente de consistencia (%) para la dirección del viento calculado para la EMA y la EMC.

	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
2006									59,84	29,60	42,63	54,23
2007	63,58	82,06	69,87	47,88	28,50	30,81	22,34	55,62	83,88	47,60	32,49	10,35
2008	87,12	75,56	69,00	85,91	83,90	68,44	26,83	84,08	58,78	52,91	67,51	38,91

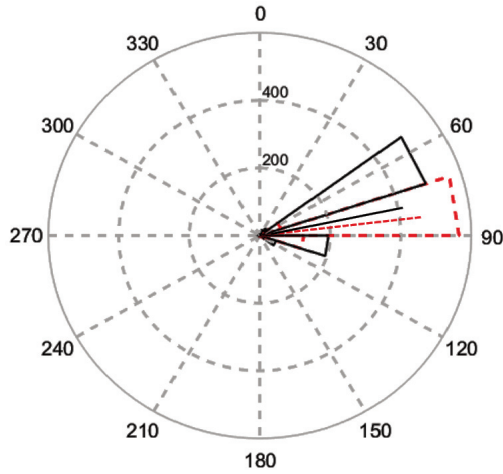


Figura 5. Histograma circular de frecuencia diaria de la dirección del viento para la EMA (polígonos rojos, la línea roja representa la media circular) y la EMC (polígonos negros, línea negra representa la media circular).

Para el caso de los registros mensuales de la DV, la dirección predominante registrada por la EMC fue 70° , durante 22 meses (figura 8), mientras que la para la EMA la variabilidad fue mayor con una moda de 81° (5 meses). Por otra parte, los estadísticos de dispersión (desviación angular estándar, y la varianza circular) mostraron que las mediciones de la DV de ambas estaciones fueron bastante homogéneas, presentando poca variabilidad (tabla 3).

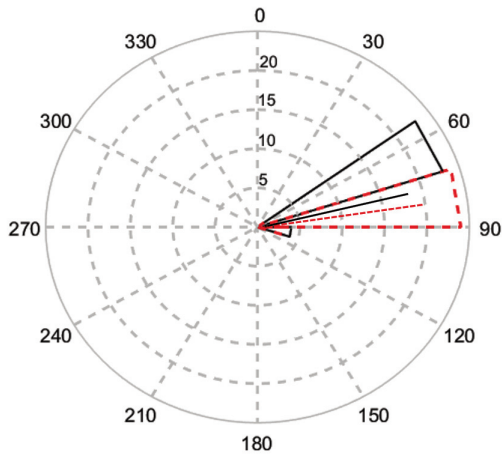


Figura 6. Histograma circular de frecuencia mensual de la dirección del viento para la EMA (polígonos rojos, la línea roja representa la media circular) y la EMC (polígonos negros, línea negra representa la media circular).

La tabla 4, presenta los coeficientes de consistencia de DV calculados para ambas estaciones; se puede apreciar que en general los valores son menores que los registrados para la VMV. Los valores más bajos del coeficiente fueron calculados en los últimos seis meses de cada año, los cuales corresponden a los meses con mayor variabilidad en la DV, donde se observaron vientos provenientes del NNE -NE - NNO, además de los típicos vientos ESE - E – ENE.

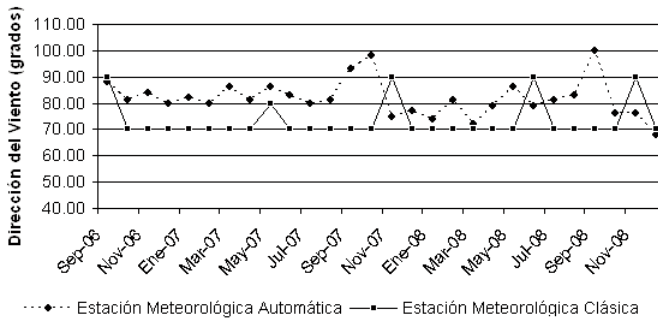


Figura 8. Promedios mensuales de la dirección del viento para la EMA y la EMC.

Temperatura del aire (TA)

La prueba *t-student* indicó que existieron diferencias estadísticamente significativas con respecto a la media diaria de la TA calculadas para ambas estaciones ($t=-34,81$, $p<0,001$). La desviación estándar, varianza y coeficiente de variación calculados para la TA (Tabla 5) mostraron que las mediciones de ambas estaciones fueron bastante homogéneas presentando poca variabilidad. La prueba *f-Fisher* no mostró diferencias estadísticamente significativas con respecto a la desviación estándar de la TA para la EMA y la EMC ($f= 0,905$, $p>0,05$).

Tabla 5. Resumen estadístico para la temperatura del aire medida por la EMA y la EMC.

Temperatura del Aire (°C)		
Estadístico	EMA	EMC
N	814	814
Mínimo	24,40	23,30
Máximo	30,10	30,60
Media	27,63	28,49
Mediana	27,80	28,67
Desviación estándar	1,06	1,05
Varianza	1,12	1,11
Coefficiente de variación	3,82%	3,69%
Kurtosis	-3,24	2,72
Sesgo	-3,94	-3,12

La mayor cantidad de mediciones diarias realizadas por la EMA (420) estuvieron entre los 26,6 y 28,4 °C, mientras que la EMC presentó la mayor frecuencia de valores (460) entre los 28,4 y 32 °C (Figura 9). El registro de la temperatura media diaria muestra una amplia variación de un día a otro en ambas estaciones (Figura 10), en la EMC la máxima diferencia fue de 2,8 °C mientras que en la EMA fue de 2,12 °C. La mayor desigualdad diaria entre las mediciones de ambas estaciones fue de 3,16 °C entre el 8 y 9 de abril del 2008, registrándose ese mes la disparidad más amplia entre las estaciones.

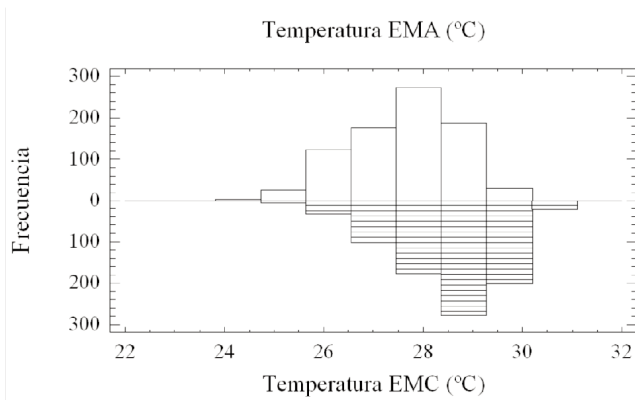


Figura 9. Histograma de frecuencia de la temperatura del aire para la EMA y la EMC.

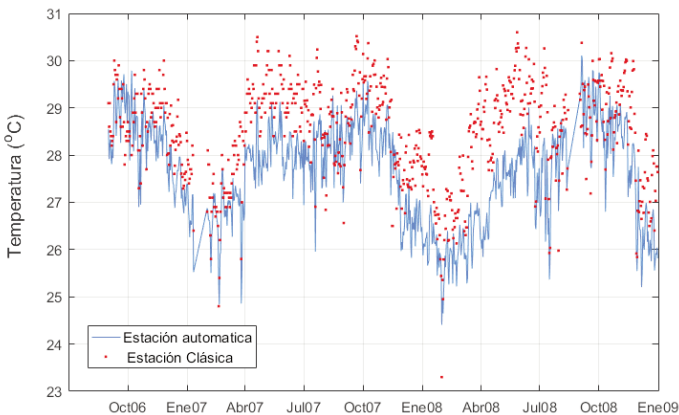


Figura 10. Registros diarios de la temperatura del aire para la EMA y la EMC.

Por otra parte, los promedios mensuales de la TA se pueden apreciar en la figura 11, en todos los meses comparados la EMC registró valores más altos que la EMA, encontrándose la máxima disparidad en mayo 2008 (1,9 °C) y abril 2008 (2,4 °C). La prueba *t-student* indicó que existieron diferencias significativas entre los valores promedios mensuales de la TA ($t=-9,730$, $p<0,001$). El patrón de las medias mensuales de la temperatura es similar para ambas estaciones, pudiéndose apreciar en la figura 11 que la desigualdad es mínima durante septiembre, octubre y máxima durante mayo, abril de cada año.

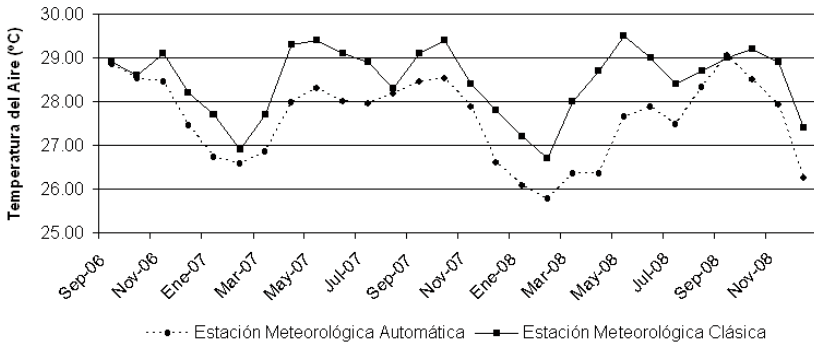


Figura 11. Promedios mensuales de la temperatura del aire para la EMA y la EMC.

Los coeficientes de consistencia para la TA varían del 14 % en abril del 2008 (cuando se registraron las mayores divergencias entre las mediciones de la EMA y la EMC) hasta 93 % en enero del 2007 (tabla 6), en general, en 15 meses el coeficiente presentó valores por encima del 70 % pudiendo indicar una moderada consistencia entre las mediciones de la EMA y la EMC.

Tabla 6. Valores del coeficiente de consistencia (%) para la temperatura del aire calculado para la EMA y la EMC.

	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
2006								46,52	64,78	63,56	79,12	
2007	93,18	81,76	64,67	57,75	75,97	70,64	83,31	83,46	75,91	79,95	53,14	69,32
2008	59,39	82,93	67,35	14,57	48,79	80,46	62,13	73,64	75,73	79,37	89,63	70,65

Precipitación

En total 193 días de lluvia fueron registrados con la EMA, comparados con 187 de la EMC (Tabla 7). La prueba *t-student* determinó que no existieron diferencias estadísticamente significativas con respecto a los registros diarios de la precipitación calculadas para ambas estaciones ($t= 0,344$, $p>0,731$). En la figura 12 se puede observar que la frecuencia de lluvias extremas es muy baja en la zona, en la mayoría de los días

(EMA 180 días, EMC 168 días) los registros de lluvia no exceden los 15 mm. La máxima disparidad en la cantidad de días de lluvias registrados mensualmente por ambas estaciones fue de 5 días (julio 2007). A pesar de esto, en 5 meses las dos estaciones midieron igual cantidad de días y en 10 meses la desigualdad solo fue de un día (figura 13).

Tabla 7. Resumen estadístico para la precipitación por la EMA y la EMC..

Precipitación (mm)		
Estadístico	EMA	EMC
N	193	187
Mínimo	0,254	0,10
Máximo	97,79	106,8
Media	5,76	6,33
Mediana	2,03	2
Suma	1113	1184
Desviación estándar	11,29	12,57
Varianza	127,48	158,19
Coefficiente de variación	195,74%	198,59%
Kurtosis	89,53	86,52
Sesgo	28,11	27,54

Con respecto al patrón mensual, la prueba *t-student* indicó que no existieron diferencias significativas entre los valores promedios mensuales de la precipitación ($t=-0,737$, $p= 0,464$). Ambas estaciones muestran un comportamiento similar (figura 14), registrando las mayores lluvias en los periodos junio-diciembre y una temporada de sequía durante el primer semestre de cada año. Mayo 2007 fue el único mes donde no se midieron precipitaciones.

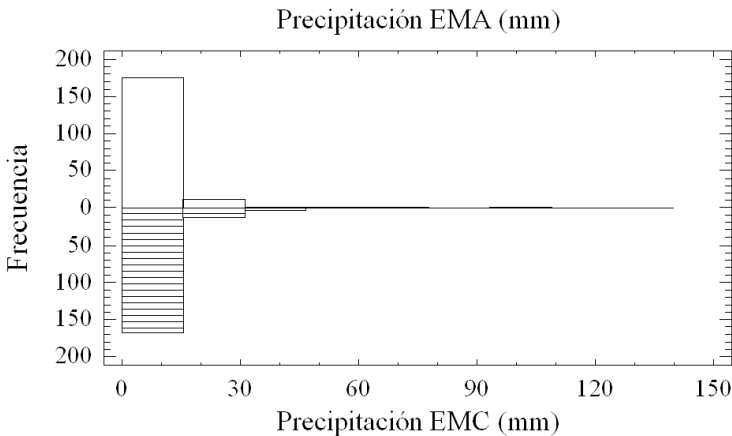


Figura 12. Histograma de frecuencia de la precipitación para la EMA y la EMC.

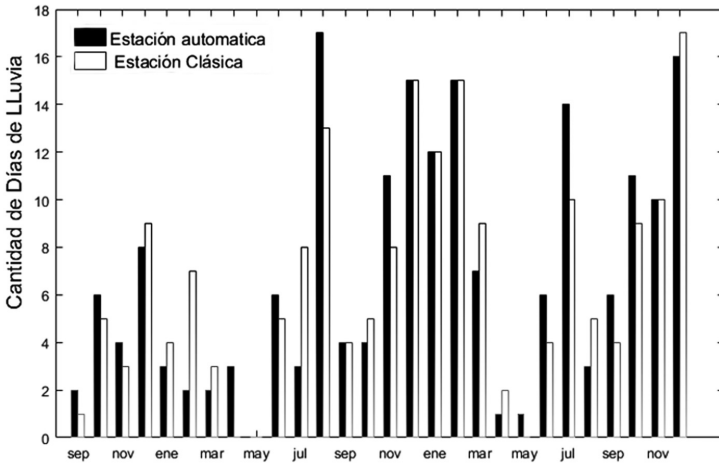


Figura 13. Cantidad de días con registros de lluvias para la EMA y la EMC.

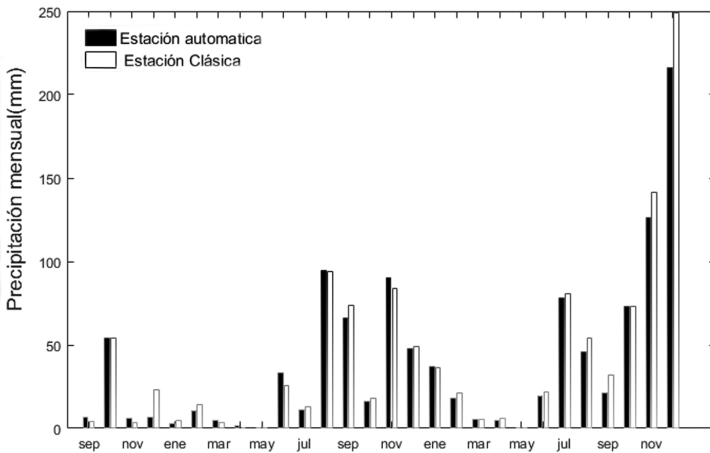


Figura 14. Registros mensuales de la precipitación para la EMA y la EMC.

En 20 de los meses analizados los valores del porcentaje del coeficiente de consistencia (tabla 8) fueron mayores del 70 % alcanzando el máximo valor en septiembre del 2007 (99,50 %). Sin embargo también se registraron valores bajos en noviembre 2006 (41,09 %) y marzo 2008 (22,47 %). Los valores de cero calculados en abril 2007, mayo 2007 y 2008 indicaron que alguna de las dos estaciones (EMC) no registró valores de lluvias en dichos meses.

Tabla 8. Valores del coeficiente de consistencia (%) para la precipitación calculado para la EMA y la EMC.

	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
2006									98,26	98,99	41,09	85,91
2007	67,39	98,32	75,24	0,00	0,00	90,83	86,73	99,17	99,53	94,33	98,41	98,02
2008	98,54	77,75	22,47	99,25	0,00	78,38	81,45	88,38	55,20	93,06	98,89	98,52

Discusión

Las diferencias en las mediciones de las variables meteorológicas, pudieran deberse a los sesgos ocasionados por las distintas tecnologías de los sensores, a la longevidad de los instrumentos mecánicos, la falta de mantenimiento de los mismos, o a la ubicación de las estaciones meteorológicas (cercanas, pero sobre sustrato diferente, tierra y agua). Además, la exposición constante de estos instrumentos a los elementos climáticos como la humedad, la corrosión, la radiación solar, puede disminuir la precisión de los mismos.

Con relación a la velocidad media del viento (VMV), la Organización Meteorológica Mundial (2008) indicó que los problemas más frecuentes observados en instrumentos mecánicos han sido: el aumento gradual de la fricción en los cojinetes con el tiempo, variación de propiedades aerodinámicas y peso debido al desgaste de los materiales y daños en la rueda de las copas. En consecuencia, se puede presentar una reducción en la velocidad de rotación del anemómetro, obteniéndose valores subestimados de la VMV. Esto es un problema que se da con el tiempo de uso de este tipo de sensores y la falta de mantenimiento.

Varela y Velásquez (2017), destacan que el registro del viento no ha sido continuo en la EMC desde que se iniciaron en 1975 (nueve años después del resto de mediciones). Entre 1990 y 2007 hubo tres prolongados períodos sin registros y a partir de diciembre del 2008 no hubo más mediciones. Los fallos fueron debido a dificultades con el servicio técnico de los instrumentos de medida. Lo que indica que la instrumentación requerida para esta variable ha sido la que con más dificultad se ha logrado mantener de forma continua, pues las averías presentadas han demorado en resolverse. Otro aspecto importante es que en los últimos años de funcionamiento del anemómetro de la EMC, no se realizó el mantenimiento adecuado, debido a que el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH) desde comienzos de la década del 2000 empezó la compra e instalación de las EMA para todo el país, dejando al menos la EMC de Punta de Piedras sin un mantenimiento regular.

Por su parte, el anemómetro marca Young instalado en la EMA, fue diseñado para trabajar en ambientes marinos expuesto a la humedad, radiación solar y las fuertes condiciones de corrosión, garantizando así las mediciones de la VMV (Young Meteorological Instruments, User Manual model 05106, 2000). Sin embargo, es reconocido que estos sensores pudieran presentar una sobre-estimación de las medidas

ya que, por ejemplo, una desviación del eje de la hélice de $\pm 18^\circ$ de la dirección del vector viento provoca un error de medición de la velocidad del viento de hasta un 2%, y también a causa de la inercia en el movimiento de las hélices, ya que acelera más rápidamente con una velocidad de viento creciente, que lo que desacelera con velocidad del viento decreciente (Herrera *et al.* 2010). Lo que pudiera explicar que las diferencias entre las mediciones de la VMV de la EMA y la EMC se acentúan en los meses que la VMV aumenta en intensidad.

Por otra parte, las características electrónicas del sensor de DV en la EMA en comparación con el anemómetro mecánico instalado en la EMC, le permiten realizar mediciones con mayor resolución pudiendo mostrar el ciclo diario de la DV mucho más detallado, sin embargo, no se puede descartar que la falta de mantenimiento en el sensor de la EMC pudiera ser un factor a la hora de determinar dichas diferencias.

En el caso de la temperatura del aire (TA), la ubicación de las estaciones pareciera ser el factor clave a la hora de establecer la causa de las diferencias entre sus valores. La EMC se encuentra instalada sobre el suelo, mientras que la EMA esta ubicada sobre el agua en la costa cercana a unos 500 m de distancia. Las propiedades de absorción y de irradiación de calor son distintas entre el suelo y el agua. El suelo se calienta de forma rápida y refleja intensamente, mientras que el agua absorbe más calor y lo emite moderadamente. De igual forma las superficies terrestres se enfrían más rápido y a menores temperaturas que las acuosas (Guevara 2004). Entonces la transferencia de calor del suelo a la atmósfera será mayor que del agua a la atmósfera, pudiéndose medir mayores temperaturas del aire sobre el suelo que sobre el agua.

Sun *et al.* (2005), indican que según diferentes estudios realizados a los datos del Servicio Nacional del Clima de Estados Unidos (NWS), las diferencias entre las mediciones de temperaturas realizadas con sensores con diferentes tecnologías pueden ser significativas. Siendo este el caso de las estaciones estudiadas, en la EMA el elemento sensible es un termistor de platino que se basa en una propiedad eléctrica mientras que en la EMC el elemento sensible es una lámina bimetálica que se basa en la propiedad de dilatación de cada material.

La precipitación total de lluvia registrada en ambas estaciones fue similar. Mientras que el número de días de lluvia es con frecuencia disímil. Una causa es que la EMC no registra lluvias pequeñas por tanto algunos días pasan desapercibidos. Pero hay meses que sucede al contrario en que los registros de la EMA son menores, esto pudiera estar relacionado con problemas en el pluviómetro automático. Que puede verse afectado por la deposición de tierra y salitre en los embudos, atascando las rejillas, en ocasiones junto con excrementos de aves marinas que tienden a posarse sobre la torre donde se encuentran los sensores. Esto se hace particularmente frecuente en épocas de sequía cuando la tierra y residuos se solidifican rápidamente, la lluvia no lava el embudo y se tiende a tapar la entrada del agua hacia el balancín. Para minimizar este problema se requiere de un mantenimiento preventivo a la EMA cambiando el embudo con más frecuencia en la época seca, y colocando pequeños elementos metálicos en las proximidades del pluviómetro que incomoden el posado de las aves.

Con relación al coeficiente de consistencia, los valores calculados fueron elevados para la VMV, lo que pudiera sustentar, junto con el hecho que no se encontraron diferencias estadísticas en las medias mensuales, el posible uso de los datos de la VMV provenientes de la EMA para la continuidad de la serie de tiempo de la EMC. Esto es importante, ya que uno de los principales usos que se les ha dado a estos datos, es el cálculo de tendencias y del efecto en las variables oceanográficas que dependen del viento (p. ej.: índice de surgencia).

Sin embargo, Gattinoni *et al.* (2011), sugieren el uso de series de tiempo más largas (más de 3 años) para realizar las comparaciones entre los grupos de datos y verificar que tan homogéneos son y cuán grandes pueden ser los sesgos encontrados, para así validar el uso de los datos en la construcción de una serie de tiempo única. Aunque previamente se ha calculado este índice para diferentes variables meteorológicas (Gattinoni *et al.* 2011, Colotti *et al.* 2003), no fue posible encontrar registros publicados del índice de consistencia para la VMV con los cuales comparar.

En cuanto a la DV y TA, los valores de coeficiente de consistencia fueron bajos, debido principalmente a las diferencias estadísticas entre los valores medidos por la EMA y por la EMC. Sin embargo, para la DV, es posible construir una serie de tiempo única, pues aunque los valores registrados por la EMA poseen mucha más precisión lo cual da mayor resolución a las mediciones, estas se encuentran dentro del rango histórico de valores medidos para esta zona geográfica. Para la precipitación los valores del coeficiente fueron los más elevados, pudiendo ser un criterio válido junto a los demás análisis realizados para permitir el uso de ambos conjuntos de datos en la construcción de una serie de tiempo única de precipitación.

Gattinoni *et al.* (2011), obtuvieron valores de dicho coeficiente para datos de precipitación en estaciones meteorológicas en la provincia de Buenos Aires, Argentina, que oscilaron entre 80,76 % en el mes de agosto y 99,54 % en mayo de 2007. Sin embargo, los valores del coeficiente calculados por Colotti *et al.* (2003) en estaciones meteorológicas al sur de Venezuela, fueron aún mayores, con un máximo de 99,99 % en febrero y un mínimo de 98,97 % en marzo de 1999. También, Gattinoni *et al.* (2011), compararon la temperatura medidas por estaciones meteorológicas clásicas y automáticas usando este coeficiente. Los valores obtenidos oscilaron entre 82,58 % y 93,48 %.

La comparación de los registros diarios y los promedios mensuales entre estaciones muestra resultados estadísticos distintos dependiendo de la variable. La VMV y la TA muestran diferencias significativas en los registros diarios, mientras que la DV y la precipitación no las presentan. En los promedios mensuales de la VMV no hay diferencia significativa y solo la TA sigue mostrando una disparidad entre estaciones. En los análisis de la variabilidad se manifiesta que hay poca dispersión en las mediciones tanto en la EMC como en la EMA. El índice de consistencia puede ser alto como en el caso de la VMV o con resultados variables para cada mes como sucede para DV, TA y precipitación. Para validar la homogeneidad de los datos se concluye que este índice depende de cada variable y es una buena herramienta en conjunto con otros análisis estadísticos.

Agradecimientos. Un reconocimiento a Jesús Narváez, Alberto Rosales, Jesús Escalona por su ayuda en el mantenimiento y procesamiento de datos de la estación meteorológica automática. La estación meteorológica automática en el muelle de Fundación La Salle fue obtenida por el Dr. Frank Muller-Karger del IMARS University of South Florida. St. Petersburg, como apoyo a la información meteorológica necesaria para el proyecto CARIACO

Bibliografía.

- APARICIO, R. 2003. Revisión de las características oceanográficas de la plataforma nororiental de Venezuela. *En*: P. Fréon y J. Mendoza (Eds.): *La Sardina *Sardinella aurita* su medio ambiente y explotación en el Oriente de Venezuela*. IRD Editions, Paris 171–205.
- ASTOR, Y., F. MULLER-KARGER, R. BOHRER, L. TROCCOLI Y J. GARCIA. 2005. Variabilidad estacional e interanual del carbono inorgánico disuelto y nutrientes en la Fosa de Cariaco. *Memoria de la Fundación la Salle de Ciencias Naturales* 161–162: 235–252.
- BAKUM, A. 1973. *Coastal Upwelling Indices, West coast of North America, 1946-71* NOAA Technical Report NMFS SSRF, 67: 103 p.
- BERENS, P Y M. VELASCO. 2009. *The circular statistic tool for Matlab*. Technical Report N° 184. Max Planck Institute for Biological Cybernetics.
- COLOTTI, E., BLANCO A Y J. RODRÍGUEZ. 2003. Aplicación del coeficiente de inconsistencia como criterio de comparación entre mediciones de estaciones convencionales y automáticas de lluvia diaria. *Terra. Nueva Etapa* 27–28: 85–101.
- CONTRERAS, A. 1969. Resumen climatológico de la estación meteorológica de Punta de Piedras, Estado Nueva Esparta, 1962 – 67. *Memoria de la Sociedad de Ciencias Naturales La Salle* 29(83): 146–169.
- FRÉON, P., M. EL KHATTABI, J. MENDOZA, R. GUZMÁN. 2003a. Una estrategia reproductiva inesperada: el caso de *Sardinella aurita* de las costas de Venezuela y sus relaciones con la surgencia. *En*: P. Fréon y J. Mendoza (Eds.): *La Sardina *Sardinella aurita* su medio ambiente y explotación en el Oriente de Venezuela*. IRD Editions, Paris 357–399.
- FRÉON, P., R. GUZMÁN, R. APARICIO. 2003b. Relaciones entre capturas, esfuerzo pesquero y surgencia costera en la pesquería de la sardina del Oriente de Venezuela. *En*: P. Fréon y J. Mendoza (Eds.): *La Sardina *Sardinella aurita* su medio ambiente y explotación en el Oriente de Venezuela*. IRD Editions, Paris 451–472.
- GATTINONI, N., T. BOCA., C. REBELLA Y C. DI BELLA. 2011. Comparación entre observaciones meteorológicas obtenidas de estaciones convencionales y automáticas a partir de la estimación de parámetros estadísticos. *Revista Investigaciones Agropecuarias* (Argentina) 37: 75–85.
- GUEVARA, J. 2004. *Meteorología*. Consejo de desarrollo científico y humanístico, Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela.
- GUTTMAN, N. Y B. BAKER. 1996. Exploratory analysis of the differences between temperature observations recorded by ASOS and conventional methods. *Bulletin of the American Meteorological Society* 77: 2865–2873.
- HOLDER, C., R. BOYLES., A. SYED., D. NIYOGI Y S. RAMAN. 2006. Comparison of Collocated Automated (NCECNet) and Manual (COOP) Climate observations in North Carolina. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* 23: 671–682.
- HOYOS, J. 1985. *Flora de la Isla Margarita*. Sociedad y Fundación La Salle de Ciencias Naturales. Caracas 927 p.
- HERRERA, G., A. RESTREPO., A. QUEVEDO., G. CRESPO Y A. PORTOCARRERO. 2010. *Manual Teórico Práctico del Observador Meteorológico de Superficie*. Comisión Nacional del Agua del gobierno de México, México.

- MARDIA, K Y P. JUPP. 1999. *Directional Statistics*. Second edition. Wiley & Sons LTD. London, England.
- MULLER-KARGER, F. E., Y R. APARICIO. 1994. Mesoscale Processes Affecting Phytoplankton Abundance in the Southern Caribbean Sea. *Continental Shelf Research* (14:2/3) 199–221.
- MULLER-KARGER, F., L. LORENZONI, E. MONTES, G. TAYLOR, B. THUNELL, M. SCRANTON, C. BENITEZ-NELSON, Y. ASTOR, R. VARELA, L. TROCCOLI, K. FANNING. 2013. The CARIACO Ocean Time-Series: 18 years of international collaboration in ocean biogeochemistry and ecological research. *Ocean Carbon Biogeochemistry News*. OCB News Vol. 6 n° 3: 7–12. Fall 2013.
- SUN, B., B. BAKER., T. KARL Y M. GIFFORD. 2005. A comparative study of ASOS and USCRN temperature measurements. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* 22: 679–686.
- VARELA, R. Y F. VELÁSQUEZ. 2017. El clima de Punta de Piedras, Isla de Margarita. Cuadernos Flasa. Serie Ciencia y Tecnología N° 14 (en prensa)
- YOUNG METEOROLOGICAL INSTRUMENTS. 2000. Manual wind monitor-MA model 05106. Michigan, USA. 1–9. World Meteorological Organization. 2008. Guide to meteorological instruments and methods observations. 7° ed. Génova.
- ZAR, J. 1996. *Biostatistical analysis*. Third edition. Prentice-Hall International, Englewood Cliffs, New Jersey, USA. 662 pp.

Recibido: 06 mayo 2015

Aceptado: 18 mayo 2016

Publicado en línea: 18 abril 2017

Luis Medina, Ramón Varela y Fresdo Velásquez

Estación de Investigaciones Marinas de Margarita (EDIMAR), Fundación La Salle de Ciencias Naturales, Punta de Piedras, Isla de Margarita, Venezuela. lemfaull@gmail.com, ramon.varela@fundacionlasalle.org.ve