

# Análisis del viento en el municipio Jimaguayú de la provincia Camagüey para el aprovechamiento eólico



<https://eqrcode.co/a/X8CZTQ>

## Wind Analysis in the Jimaguayú municipality of the Camagüey province for wind exploitation

✉Dayan Arturo Nieves Pérez\*, ✉Yudisleydis Díaz del Risco, ✉Omar Rodríguez López, ✉Ismael Pomares Ponce, ✉Dainelaine Navarro Silva, ✉Eduardo Lauro Estrada Canosa, ✉Celia Margarita Álvarez Suau, Fernando Mejías LLorca

Centro Meteorológico Provincial de Camagüey, Camagüey, Cuba

**RESUMEN:** Se determinó la dirección y velocidad del viento en el tiempo, así como en qué horario del día es más aprovechada la energía eólica en el municipio Jimaguayú de la provincia Camagüey, específicamente en la Finca La Victoria. Este trabajo pretende caracterizar el potencial eólico en 4 niveles de altura de la atmósfera para facilitar su explotación energética. Se estudiaron los datos correspondientes al período 1989 - 2018 para las alturas de 6, 9, 10 y 12 m en esta región y fueron obtenidos de la base de datos del reanálisis del modelo Hidrotermodinámico Europeo (ERA-INTERIM), con una resolución espacial de 0.25°x0.25°, del European Center for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF). Para ello se emplearon métodos de estadística descriptiva, lográndose conocer que el mayor potencial eólico se encuentra entre las 10:00 am y las 4:00 pm, a 12 m de altura y durante el período poco lluvioso, siendo la dirección del este la predominante.

**Palabras claves:** potencial eólico, altura, predominante.

**ABSTRACT:** The direction and speed of the wind were determined over time, as well as at what time of the day wind energy is most used in the Jimaguayú municipality of the Camagüey province, specifically in the La Victoria farm. This work tries to characterize the wind potential in 4 levels of height of the atmosphere to facilitate its energetic exploitation. The data corresponding to the period 1989 - 2018 were studied for the heights of 6, 9, 10 and 12 m in this region and were obtained from the database of the re-analysis of the European Hydrothermodynamic model (ERA-INTERIM), with a spatial resolution of 0.25° x 0.25°, from the European Center for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF). For this, descriptive statistical methods were used, obtaining to know that the greatest wind potential is found between 10:00 am and 4:00 pm, at an altitude of 12 m and during the dry season, with the predominant direction of the component East.

**Key words:** wind potential, height, predominant.

### INTRODUCCIÓN

Los molinos de viento son máquinas que aprovechan la energía eólica para diferentes tareas. Actualmente son muy útiles en pequeñas fincas, especialmente en los lugares donde no se dispone de electricidad. La energía eólica se ha venido aprovechando desde la antigüedad con distintas finalidades, bien para moler granos, bombear agua, propulsar embarcaciones de velas y en fechas más recientes para generar energía eléctrica.

En Cuba se han realizado diferentes estudios que han permitido caracterizar el potencial eólico del país en diferentes zonas. Ejemplo de ello lo muestra (Perigó, 2007), sobre la factibilidad para el empleo de la energía eólica en el municipio Maisí, donde considera que “vientos con velocidades promedio entre 5.0 y 12.5 m/s son los óptimos para ser aprovechados energéticamente”.

De esta misma forma (Núñez *et al.*, 2014) desarrollaron un sistema de información que favorece la disponibilidad y fiabilidad de los parámetros del viento y ayuda en la evaluación de este recurso.

Por otra parte, (Roque *et al.*, 2015) caracterizan el perfil vertical del viento en la capa superficial atmosférica sobre Cuba, para diferentes condiciones de estratificación térmica de la atmósfera, a partir de datos reportados por torres altas de gradiente, que forman parte de la Red de Torres de Referencia Meteorológica para el Programa Eólico Cubano. También (Roque *et al.*, 2018) estudiaron las particularidades del viento en la región oriental de Cuba, donde distinguen claramente varios regímenes de viento, provocados por la interacción de los vientos alisios provenientes del Anticiclón Subtropical del Atlántico Norte, con la ocurrencia de vientos locales.

\*Autor para correspondencia: Dayan Arturo Nieves Pérez. E-mail: [dayan@cmw.insmet.cu](mailto:dayan@cmw.insmet.cu)

Recibido: 27/07/2020

Aceptado: 12/08/2021

Para justificar el uso de la tecnología de los molinos de viento y su utilización en el riego de los cultivos y abasto de agua al ganado, actualmente en la Finca La Victoria, ubicada en el municipio Jimaguayú de la provincia Camagüey, se necesita conocer la variación temporal de la dirección y velocidad del viento, así como en qué horarios del día es más aprovechada la energía eólica. Por tal motivo, el presente trabajo tiene como objetivo caracterizar el potencial eólico en 4 niveles de altura de la troposfera baja para facilitar su explotación energética, conociendo que el valor límite de la velocidad del viento para el funcionamiento de los molinos de vientos se encuentra entre los 5 y 12,5 m/s (Perigó, 2007).

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para la realización de este trabajo fueron utilizados los datos meteorológicos de las componentes zonal (u) y meridional (v) de la velocidad del viento, correspondiente al punto de rejilla 21.225 N y -77.75 W, ubicada en el municipio Jimaguayú de la Provincia Camagüey (figura 1).

Para ello se analizó el período de 1989 hasta 2018, y se utilizó la altura de 10 m sobre la superficie de valores trihorarios (01:00 am, 04:00 am, 07:00 am, 10:00 am, 13:00 pm, 16:00 pm, 19:00 pm y 22:00 pm UTC) de u y v proveniente del reanálisis del modelo European Center for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF)<sup>1</sup>, con una resolución espacial de 0.25°x0.25°.

### Cálculo de parámetros de la capa superficial atmosférica

Estos parámetros están íntimamente relacionados en la capa superficial atmosférica por mediación de la (ecuación 1), la que corresponde al perfil logarítmico en una atmósfera neutral para representar el viento en la vertical de la capa superficial atmosférica (Roque, 2015).

$$M(z) = \frac{U_*}{K} \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad (1)$$

La ecuación (2) es una alternativa de la ecuación (1), donde la ecuación (2) se utilizó para calcular apartir de la altura de 10 m, los valores de la velocidad zonal y meridional a los 6, 9 y 12 metros de altura.

$$M_2 = M_1 \cdot \frac{\ln(z_2|z_0)}{\ln(z_1|z_0)} \quad (2)$$

Donde  $M_1$  es la velocidad del viento a la altura  $z_1$ ,  $M_2$  es la velocidad del viento a la altura  $z_2$  y  $z_0$ . La velocidad está dada en m/s.

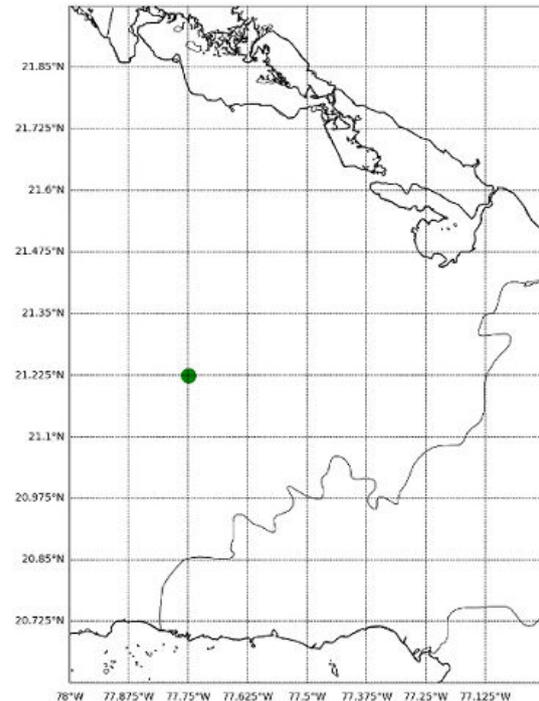


Figura 1. Punto de rejilla utilizado en el municipio de Jimaguayú

Posteriormente, se determinaron los valores medios mensuales para las alturas antes mencionadas. El estudio se hizo para las variables de dirección y fuerza del viento cada 3 horas. Estas variables son calculadas a partir de las componentes zonal (u) y meridional (v), también se determinaron el coeficiente de variación, la desviación estándar y la distribución de frecuencia por rumbo, para los 2 períodos estacionales característicos del año en Cuba: el Período Poco Lluvioso (noviembre-abril) y Período Lluvioso (mayo-octubre).

En estadística, cuando se desea hacer referencia a la relación entre el tamaño de la media y la variabilidad de la variable se utiliza el coeficiente de variación, el cual se calcula dividiendo la desviación estándar sobre la media y multiplicando este resultado por 100. Logrando de esta forma expresar el valor del coeficiente de variación en %. (ecuación 3). Donde  $\sigma$  es la desviación estándar, y  $\bar{x}$  es la Media.

$$C_v = \frac{\sigma}{\bar{x}} * 100\% \quad (3)$$

La ecuación (3), expresa la desviación estándar como porcentaje de la media, mostrando una interpretación relativa del grado de variabilidad, independiente de la escala de la variable. Por otro lado este coeficiente es fuertemente sensible ante cambios de origen en la variable. A mayor valor del coeficiente de variación mayor heterogeneidad en los valores de la variable; y a menor valor del coeficiente de variación,

<sup>1</sup>ECMWF: European Center for Medium-Range Weather Forecasts. (Forecasts, [www.ecmwf.int](http://www.ecmwf.int))

mayor homogeneidad. Si el valor del coeficiente de variación es menor o igual al 80%, significa que la media es representativa del conjunto de datos, por ende es Homogéneo. Por el contrario, si el valor del coeficiente de variación supera al 80%, el promedio no será representativo del conjunto de datos por lo que resultará Heterogéneo.

Todo esto permitió el análisis del comportamiento de las variables de dirección y fuerza del viento en 30 años en la región de estudio, así como la determinación del rumbo predominante por período estacional.

## DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

### Características de la velocidad media del viento en la marcha anual y por horarios del día. (1989-2018)

La [figura 2](#), muestra el comportamiento de la velocidad media del viento en las alturas 6, 9, 10 y 12 m respectivamente.

Como se muestra en la [figura 1.a\)](#) la velocidad media del viento alcanza un valor máximo de 3.2 m/s a las 10:00 am en el mes de noviembre y un valor mínimo de 1.7 m/s a las 4:00 am en el mes de septiembre. Por su parte la [figura 1. b\)](#) evidencia que esta variable se comporta muy similar a lo antes descrito. Muestra claramente que el valor máximo de la velocidad media es de 4.8 m/s en el mismo horario (10:00 am), aunque ocurre en el mes de diciembre. Sin embargo el valor mínimo es de 2.5 m/s y de igual forma ocurre a las 4:00 am y en el mes de septiembre. [1.c\)](#) analiza la altura de 10 m y deja claro que los valores máximos están presentes en diciembre a las 10:00 am con 5.3 m/s. En cuanto a los mínimos solo varían en su velocidad, la cual se comporta a 2.8 m/s en el mismo horario y mes que los casos anteriores a y b. Ya a 12 m de altura se incrementan los valores máximos de velocidad a 6.3 m/s en diciembre, siempre a las 10:00 am. A diferencia de los valores mínimos que son de 3.3 m/s en septiembre y ocurren a las 4:00 am.

Por tanto, se puede resumir que el valor máximo de la velocidad media ocurre en el horario de las 10:00 am y el valor mínimo a las 4:00 am. Se puede observar que en septiembre se obtiene el valor mínimo absoluto del viento en todos los horarios y el mes de diciembre fue el que reveló un aumento de la velocidad del viento. Sin embargo en el análisis realizado se muestra que en los meses de noviembre y diciembre se observan puntos donde la velocidad converge en ambos.

Por otra parte se observa que a los 6 m de altura la velocidad del viento es similar en todos los horarios y a medida que se aumente con la altura se alcanzan los valores máximos de velocidad del viento.

A 6 m y 9 m de altura no se alcanzan velocidades por encima de los 5 m/s, por lo que las alturas recomendadas para la instalación de los molinos de viento, son a 10 y 12 m de altura, siendo la óptima la segun-

da (12 m), debido a que es allí donde la velocidad alcanza mayor potencial eólico. Esto a su vez ocurre durante los meses de noviembre a abril (período poco lluvioso) siempre en los horarios comprendidos entre las 10:00 am y 4:00 pm, no así, durante los meses de junio a septiembre, ya que ocurre todo lo contrario y son los peores meses teniendo en cuenta los valores mostrados en la [figura 2](#).

### Características de la dirección media del viento en la marcha anual y por horarios del día. (1989-2018)

Se muestran los valores de la dirección media del viento, donde se puede apreciar que se comportan de una forma estable para las alturas de 6, 9, 10 y 12 m. Al analizar los valores se observa que a las 10:00 am, siempre en el mes de junio, adquieren una componente Este (E) a los 94 grados. En el caso de los valores mínimos esto ocurre a las 7.00 pm y siempre en el mes de marzo, tomando, en este caso, valores de 47 grados con una componente del Nordeste (NE). Esto se evidencia debido a la influencia del Anticiclón Subtropical del Atlántico Norte sobre esta región del país, el cual impone vientos predominantes del NE al E durante casi todo el año ([Roque et al., 2018](#)). Teniendo en cuenta todo lo anterior, se aprecia durante todo el período de estudio (1989-2018), que en las mañanas los valores toman una componente E, a diferencia de las tardes que adquieren una componente más al NE. ([figura 3](#))

### Distribución de frecuencia para la fuerza y la dirección del Viento en el Período Lluvioso y Poco Lluvioso. (1989- 2018)

Una de las informaciones más importantes para los estudios del potencial eólico es la distribución de frecuencias del viento, puesto que permite conocer cuáles son los valores más aprovechables energéticamente. En la actualidad, una amplia gama de los aerogeneradores que se comercializan en el mundo comienzan su funcionamiento a partir de 5 m/s; por ello, resulta vital conocer la frecuencia de la rapidez del viento por encima de este valor y, de este modo, el porcentaje de tiempo anual en que el aerogenerador estará produciendo ([Roque et al., 2015](#)).

Luego de analizar los datos para el período de estudio (1989 - 2018) se obtiene como resultado que en el 60% de la distribución de los casos el rumbo predominante para la dirección del viento se manifiesta en el período lluvioso con una componente del Este (E), con una velocidad de 4 m/s. Los valores obtenidos en el período poco lluvioso son muy similares al período lluvioso, donde solamente se diferencian en que aumenta la velocidad en 5 m/s, siendo este valor la mayor representación de los casos, lo que evidencia que es el período poco lluvioso el más recomendado para realizar la instalación de los molinos de viento ([figura 4 y 5](#)).

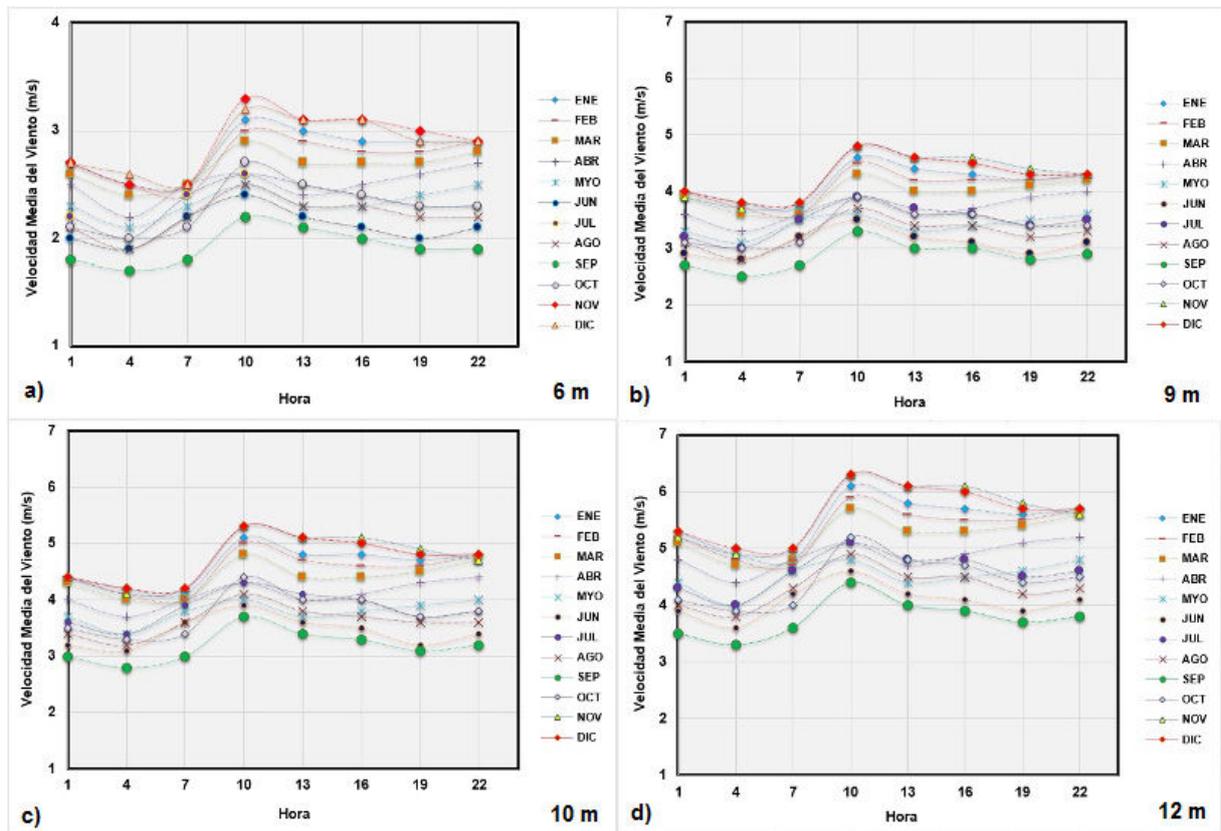


Figura 2. Comportamiento de la Velocidad Media del Viento (m/s)

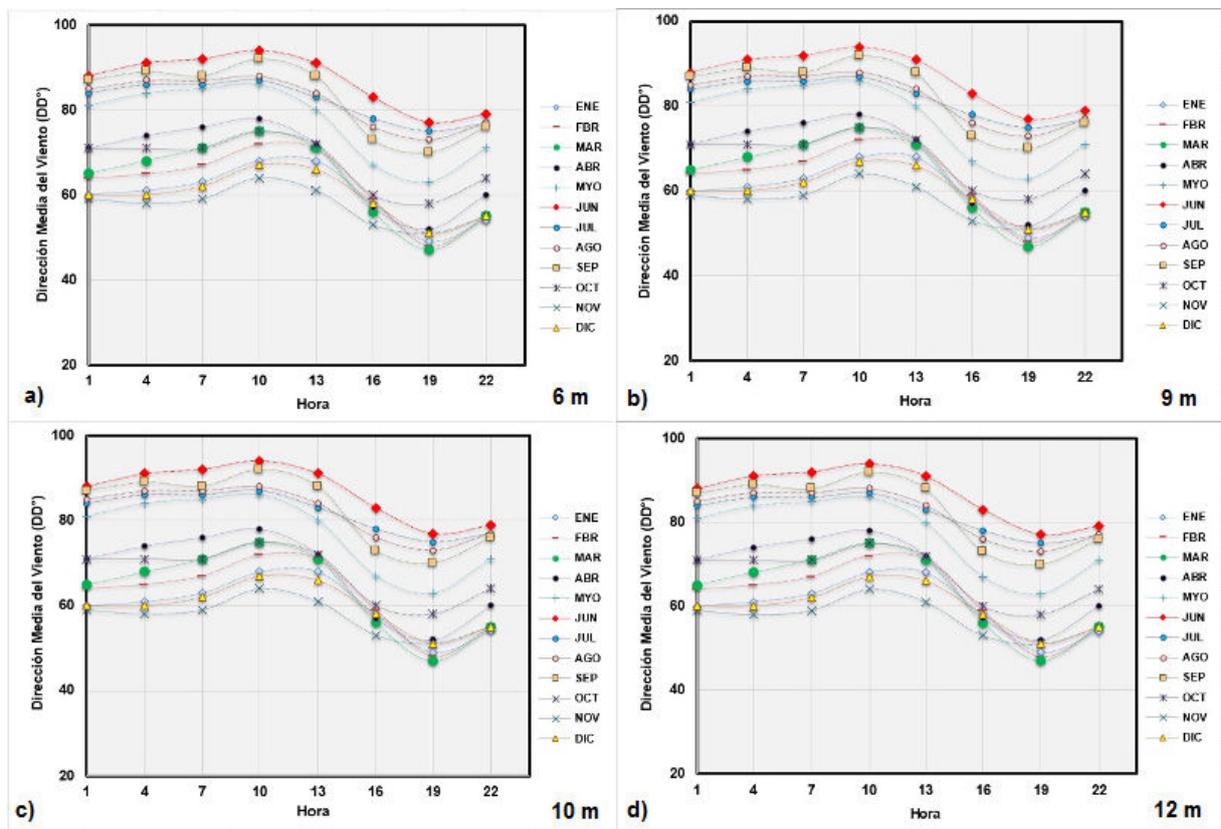


Figura 3. Variación de la Dirección Media del Viento (DD°)

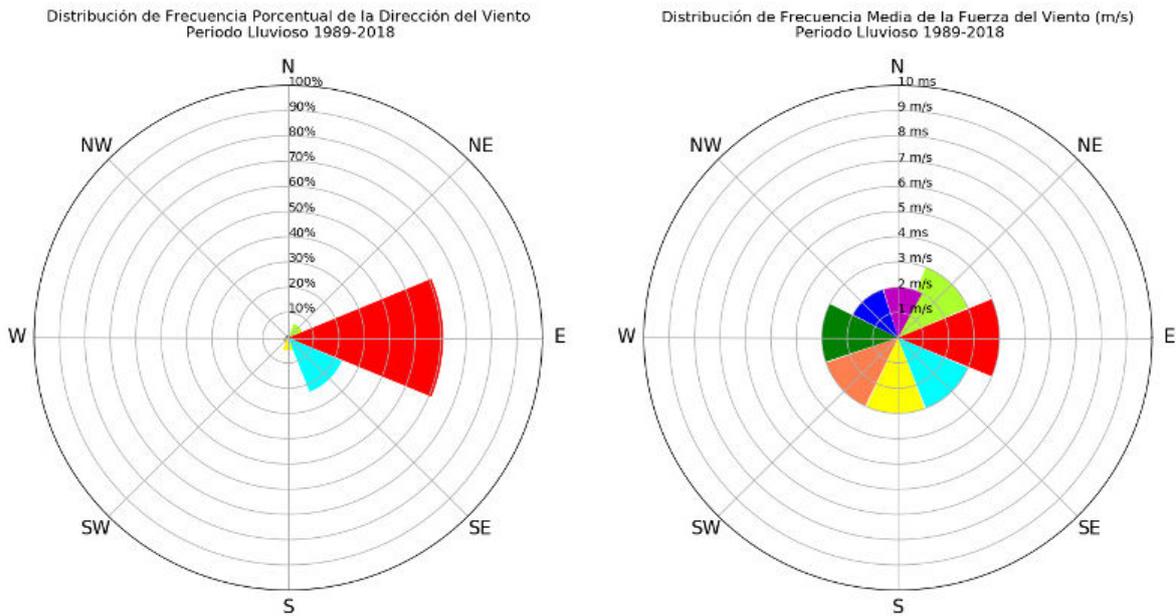


Figura 4. Distribución de frecuencia para la fuerza y la dirección del Viento en el Período Lluvioso.

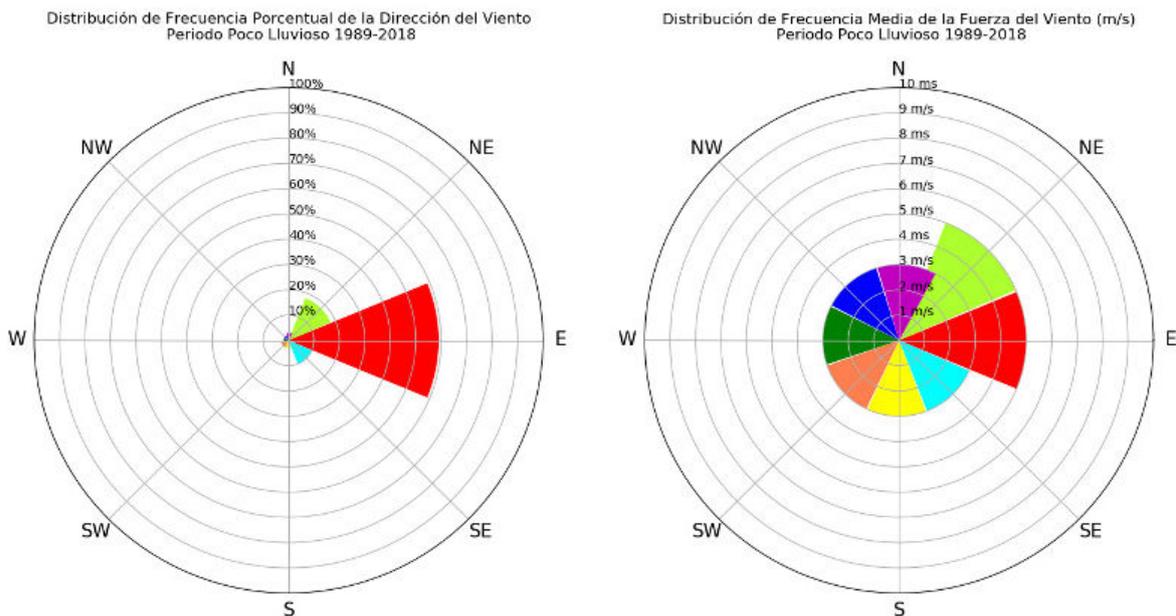


Figura 5. Distribución de frecuencia para la fuerza y la dirección del Viento en el Período Poco Lluvioso

**Comportamiento del Coeficiente de Variación para la Velocidad y Dirección medias del viento. (1989-2018)**

En las figuras 6 y 7 se observan los gráficos de los datos analizados, de lo cual se deriva que la muestra tomada es homogénea, pues los valores que se obtienen son menores que el 80% (Bouza & Sistachs, 2004) y esto significa que la media es representativa del conjunto de datos.

Teniendo en cuenta esto, el estudio realizado arrojó como resultado que los horarios en que pueden existir cambios en la velocidad media del viento en esta re-

gión, está comprendido entre las 4:00 am y 10:00 am y su mayor ocurrencia será en los meses de mayo y octubre. Existiendo una mayor estabilidad en la variable a las 10:00 am, pues hay una menor variabilidad de la velocidad del viento en prácticamente todos los horarios que coincide con el máximo de la velocidad del viento (figura 2). Lo que influye de forma positiva en el aprovechamiento óptimo de los molinos de viento. (figura 6)

En cuanto a la dirección del viento se puede apreciar que se comporta de una forma constante mayormente en los horarios de 7:00 am a 1:00 pm, siendo este el más idóneo para la utilización de la energía

eólica y por consiguiente el uso de los molinos de viento. Por lo que las horas comprendidas entre las 4:00 pm y 10:00 pm son menos favorables para el aprovechamiento de la energía eólica, debido a que

existe mayor variabilidad en el tiempo de la dirección del viento, sobre todo con mayor frecuencia en los meses de febrero, marzo y abril. (figura 7)

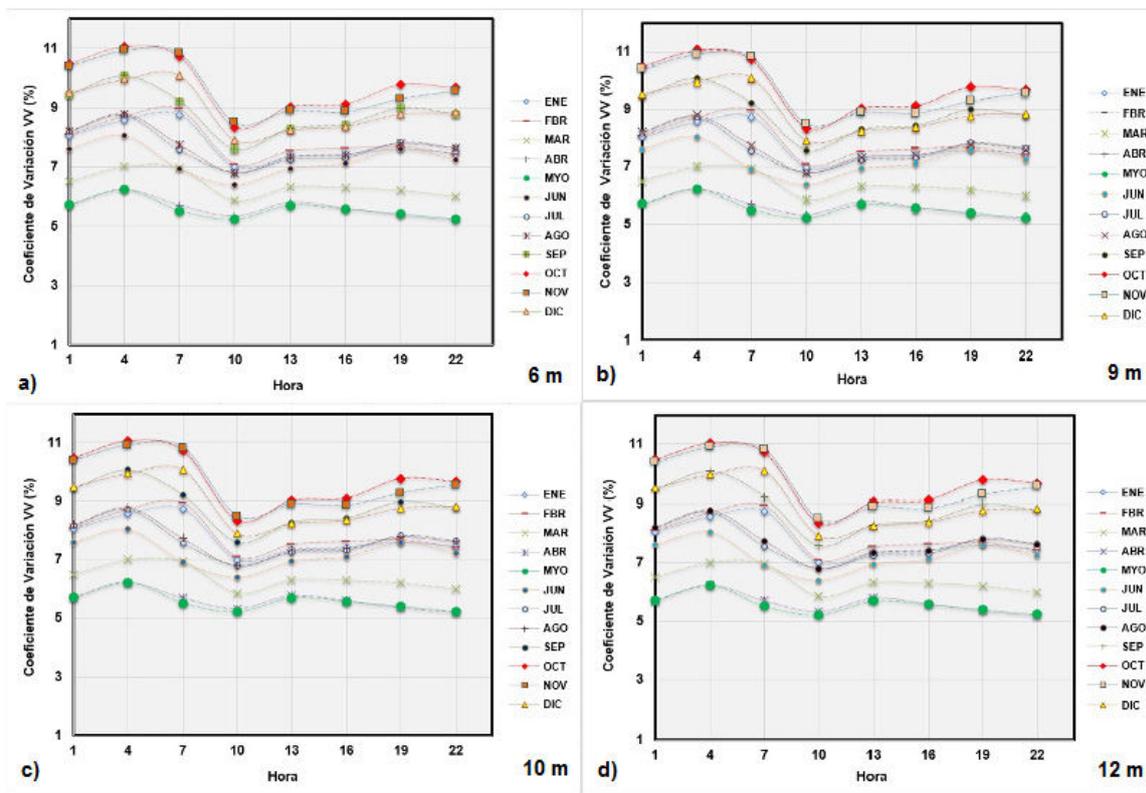


Figura 6. Comportamiento del Coeficiente de Variación de la Velocidad Media del Viento (%)

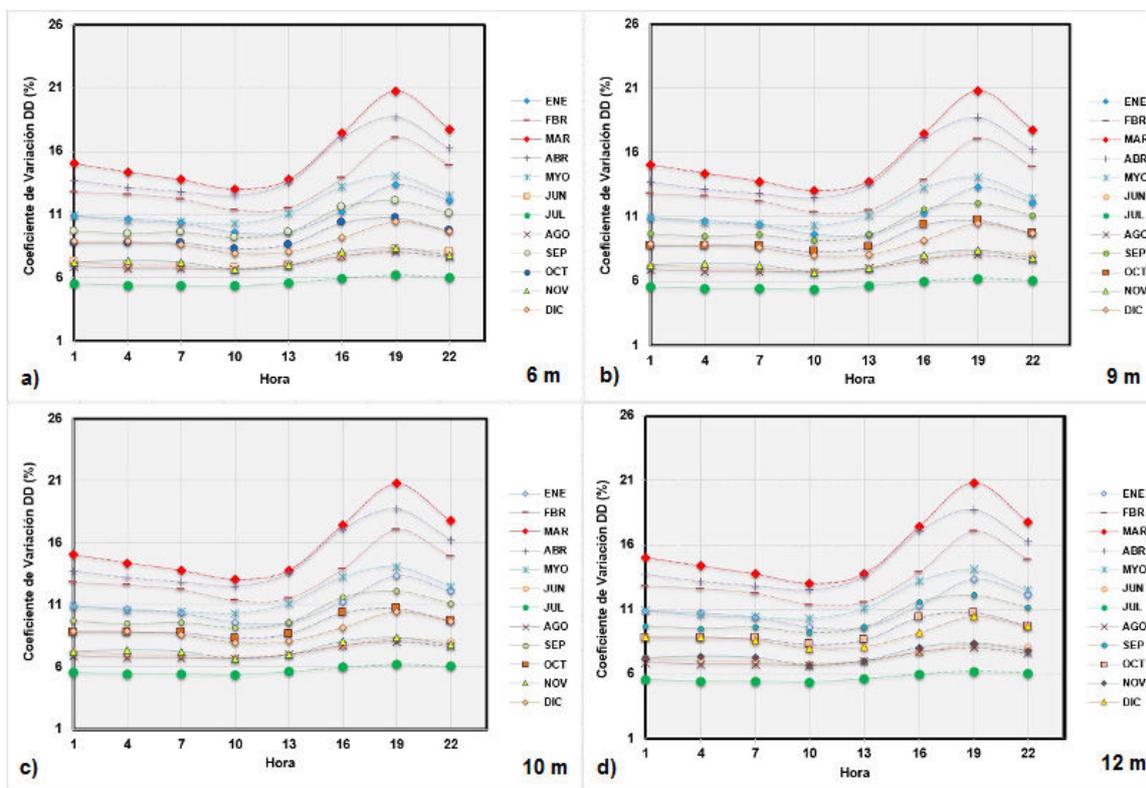


Figura 7. Comportamiento del Coeficiente de Variación de la Dirección Media del Viento (%)

## CONCLUSIONES

1. Se puede observar que el mayor potencial eólico se encuentra entre las 10:00 am y las 4:00 pm, con un valor máximo de velocidad alcanzado en el horario de las 10:00 am de la mañana en las alturas analizadas.
2. El mayor potencial eólico en la región se encuentra en los meses del período poco lluvioso, siendo más favorable en los meses de noviembre y diciembre. Sin embargo es el mes de septiembre en el que la velocidad del viento disminuye considerablemente.
3. La dirección y fuerza del viento predominante en el área de estudio para los períodos lluvioso y poco lluvioso tiene una componente del E, con velocidades para el lluvioso que pueden alcanzar 4 m/s y para el poco lluvioso hasta 5 m/s. Siendo este último el de mejor representación de los casos con un 60%.
4. De los cuatro niveles analizados la mayor velocidad del viento se encuentra a 12 metros de altura.
5. Los resultados del análisis estadístico del coeficiente de variación evidencian que la muestra tomada es homogénea, por lo tanto se pudo determinar que los horarios con mayor variabilidad en la velocidad y dirección del viento están entre la 1:00 am y 7:00 am y entre las 4:00 pm y 10:00 pm respectivamente.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Bouza, C.N. & Sistachs, V. 2004. *Estadística. Teoría Básica y Ejercicios*. Ciudad de la Habana, Cuba: Félix Varela, ISBN: 959-258-373-0.
2. Núñez, E.T.; Rodríguez, R.N.; Pierra, A.F. & Reyes, O.P. 2014. "Sistema de Información para el Análisis de Datos del Viento". *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, 8 (3): 100-113, ISSN: 2227-1899, RNPS: 2301
3. Perigó, E. 2007. *Estudio de factibilidad para el empleo de la energía eólica en el municipio Maisí*. Tesis presentada en opción al Título Académico de Máster en Ciencias Meteorológicas, Habana: Instituto Superior de Tecnología y Ciencias Aplicadas Facultad de Medio Ambiente InSTEC.
4. Roque, A.R.; Carrasco, M.D. & Reyes, P.M. 2015. "Características del perfil vertical del viento en la capa superficial atmosférica sobre Cuba, atendiendo a la estratificación térmica de la atmósfera". *Ciencias de la Tierra y el Espacio*, 16 (2): 189-200, ISSN: 1729-3790
5. Roque, A.R.; Montenegro, U.M. & Peña, A.C. 2018. "Particularidades del viento en la región oriental del país". *Revista Cubana de Meteorología*, 24(3): 335-348, ISSN: 0864-151X

Dayan Arturo Nieves Pérez. Centro Meteorológico Provincial de Camagüey, Camagüey, Cuba.

E-Mail: [dayan@cmw.insmet.cu](mailto:dayan@cmw.insmet.cu)

Yudisleydis Díaz del Risco. Centro Meteorológico Provincial de Camagüey, Camagüey, Cuba.

E-Mail: [yudisleydis.diaz@cmw.insmet.cu](mailto:yudisleydis.diaz@cmw.insmet.cu)

Omar Rodríguez López. Centro Meteorológico Provincial de Camagüey, Camagüey, Cuba.

E-Mail: [omar@cmw.insmet.cu](mailto:omar@cmw.insmet.cu)

Ismael Pomares Ponce. Centro Meteorológico Provincial de Camagüey, Camagüey, Cuba.

E-Mail: [ismael@cmw.insmet.cu](mailto:ismael@cmw.insmet.cu)

Dainelaine Navarro Silva. Centro Meteorológico Provincial de Camagüey, Camagüey, Cuba.

E-Mail: [nanin@cmw.insmet.cu](mailto:nanin@cmw.insmet.cu)

Eduardo Lauro Estrada Canosa. Centro Meteorológico Provincial de Camagüey, Camagüey, Cuba.

E-Mail: [eduardo.estrada@cmw.insmet.cu](mailto:eduardo.estrada@cmw.insmet.cu)

Celia Margarita Álvarez Suau. Centro Meteorológico Provincial de Camagüey, Camagüey, Cuba.

E-Mail: [celia@cmw.insmet.cu](mailto:celia@cmw.insmet.cu)

Fernando Mejías LLorca. Centro Meteorológico Provincial de Camagüey, Camagüey, Cuba.

E-Mail: [mejia@cmw.insmet.cu](mailto:mejia@cmw.insmet.cu)

**Conflicto de intereses:** Los autores declaran no tener conflicto de intereses

**Contribución de los autores:** Concepción de la idea: Dayan Arturo Nieves Pérez. Manejo de los datos: Dayan Arturo Nieves Pérez, Yudisleydis Díaz del Risco, Omar Rodríguez López, Ismael Pomares Ponce, Dainelaine Navarro Silva, Eduardo Lauro Estrada Canosa, Celia Margarita Álvarez Suau y Fernando Mejías LLorca. Análisis de los datos: Dayan Arturo Nieves Pérez, Yudisleydis Díaz del Risco, Omar Rodríguez López, Ismael Pomares Ponce, Dainelaine Navarro Silva, Eduardo Lauro Estrada Canosa, Celia Margarita Álvarez Suau y Fernando Mejías LLorca. Investigación: Dayan Arturo Nieves Pérez, Yudisleydis Díaz del Risco, Omar Rodríguez López, Ismael Pomares Ponce, Dainelaine Navarro Silva, Eduardo Lauro Estrada Canosa, Celia Margarita Álvarez Suau y Fernando Mejías LLorca. Metodología: Dayan Arturo Nieves Pérez, Yudisleydis Díaz del Risco, Omar Rodríguez López, Ismael Pomares Ponce, Dainelaine Navarro Silva. Software: Omar Rodríguez López. Supervisión: Dayan Arturo Nieves Pérez, Yudisleydis Díaz del Risco, Omar Rodríguez López, Ismael Pomares Ponce, Dainelaine Navarro Silva. Validación de los resultados: Dayan Arturo Nieves Pérez, Yudisleydis Díaz del Risco, Omar Rodríguez López, Ismael Pomares Ponce, Dainelaine Navarro Silva.

Este artículo se encuentra bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)