

COMPORTAMIENTO DEL VIENTO Y ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL EÓLICO EN LA REGIÓN SUR DE GUATEMALA

Wind behaviour and estimation of wind potential in the southern region of Guatemala

Mayra Virginia Castillo Montes

Dra. en Educación

mayracastillom@yahoo.com

William Adolfo Polanco Anzueto

Lic. en Matemática Aplicada

william.polanco.gt@gmail.com

Paris Francisco Rivera Ramos

Dr. en Cambio Climático

paris.rivera@gmail.com

Recibido: 30 de noviembre de 2020. | Revisado: 20 de mayo de 2021. | Aceptado: 16 de junio de 2021.

RESUMEN

El estudio del comportamiento del viento en la región sur de Guatemala se realiza con base en registros de 28 estaciones meteorológicas del Instituto Privado de Investigación en Cambio Climático, para el periodo de 2007 a 2018. La caracterización del viento y su descripción por medio de la distribución de Weibull de dos parámetros se orienta a la estimación del potencial eólico en la región.

El comportamiento del viento de acuerdo con la escala de Beaufort se describe como una brisa ligera y brisa muy ligera. Las velocidades máximas se observan entre las 9:00 y las 18:00 horas, con dirección predominante Norte y Noreste, aunque en su mayoría no superan los 4m/s, que se estima corresponde a la manifestación de vientos alisios en la región. En otros horarios alternan la componente Sur y Suroeste, así como la dirección Noroeste.

El potencial eólico estimado para alturas de 30m y 50m es insuficiente para la generación de energía a gran escala.

PALABRAS CLAVE

Velocidad del viento, componente del viento, distribución de Weibull, potencial eólico.

ABSTRACT

The wind behaviour study on the southern region of Guatemala is carried out based on records from 28 meteorological stations of the Private Institute for Climate Change Research, from the period from 2007 to 2018. Wind characterization and its description through the Weibull distribution of two parameters is oriented to estimate the region's wind potential.

According to the Beaufort scale, the wind behaviour is described as light breeze and a very light breeze. Maximum speeds are observed between 9:00 am and 6:00 pm., predominantly from the North and Northeast, although most do not exceed 4 m/s, which is estimated to correspond to the manifestation of the trade winds in the region. At other times, the wind alternates among the South and Southwest components, as well as the Northwest.

The estimated wind potential, at heights of 30 m and 50 m, is insufficient for large scale power generation.

KEYWORDS

Wind speed, wind component, Weibull distribution, wind potential.

INTRODUCCIÓN

A partir de conceptualizar el viento como masas de aire en movimiento, su dinámica puede estudiarse a diferentes escalas; entre ellas la capa límite de la tropósfera (hasta 1000 m de altura) en la que se analizan posibles aplicaciones eólicas a partir de la velocidad del viento, medida con base en la intensidad y la dirección (Villarrubia, 2013).

En los estudios relacionados con la velocidad y componente del viento se identifican propósitos como: caracterización del comportamiento de estas variables en regiones de interés, descripción de factores climáticos y orográficos incidentes en el comportamiento del viento en determinado periodo temporal, aplicación de modelos para estimar la velocidad y análisis del potencial para la generación de energía eólica. Este tema está abierto a la investigación.

En la literatura revisada se identifica la aplicación de varios modelos para estudiar el comportamiento de la velocidad del viento, entre ellas las distribuciones de Weibull, Gamma, Rayleigh y Lognormal (Amaya, Saavedra y Arango; 2014). Se destaca la bondad del ajuste del modelo de Weibull de dos parámetros (Guevara, 2013; Galán, Terrero, Legrá y Carcassés, 2014; Orozco, Mejías y Mellado, 2015; Pérez, Arriola y Espinal, 2017; Otero, Cerne y Campetella, 2017; Aragón, Serna y Solano, 2019; Zetina et al, 2019; Constante, Cuesta y Jijón, 2021). En otros estudios se han aplicado algoritmos de redes neuronales artificiales (Bolaños, Yaulema, Gavilánez y Avayaca, 2020; Vargas, 2020), o su combinación con los modelos ARIMA de Box-Jenkins (Pino, Parreño, Priore y Gómez, 2004).

DESARROLLO DEL ESTUDIO

El estudio es de enfoque cuantitativo y diseño no experimental. La información que se analiza corresponde a registros de 28 estaciones meteorológicas ubicadas en la región sur de Guatemala, que pertenecen al Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático-ICC-

Los registros diarios de velocidad y dirección del viento se realizan cada 15 minutos, con periodos de registro diferentes entre 2007 y 2018.

Las fases de la investigación son: a) Estructuración de base de datos con registros de velocidad y componente del viento en cada estación, a partir de la información disponible. b) Análisis descriptivo para el cálculo de promedios diarios y anuales para caracterización de la velocidad y componente del viento, por medio de series de tiempo, rosas de viento y otros. c) Aplicación del modelo de Weibull de dos parámetros y análisis de la bondad de ajuste, con el criterio de máxima verosimilitud. d) Interpretación de los rangos de velocidad de acuerdo con la escala de Beaufort. e) Cálculo y estimación del potencial eólico (Watts/m^2) con base en Villarrubia (2013, p.92):

$$\frac{\langle P_d \rangle}{A} = \frac{1}{2} \rho \langle v^3 \rangle \quad (1)$$

$$\langle v^3 \rangle = \int_0^\infty v^3 p(v) dv = c^3 \Gamma\left(1 + \frac{3}{k}\right) \quad (2)$$

donde ρ es la densidad del aire, c y k son los parámetros de Weibull y Γ es la función Gamma.

$$\rho = \rho_0 e^{-\left(\frac{0.297 H_m}{3048}\right)} \quad (3)$$

donde $\rho_0 = 1.225 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ y H_m es la elevación del lugar sobre el nivel del mar. Patel (2006, p.30).

Para estimar el potencial eólico a 30m y 50m se utiliza la expresión

$$\frac{(\text{Potencial eólico})^*}{\text{Potencial eólico}} \approx \left(\frac{z^*}{z}\right)^{3\alpha} \quad (4)$$

donde (Potencial eólico)* es el potencial que se busca estimar, Potencial eólico es el potencial calculado, z^* es la altura a la cual se estima el potencial y z es la altura del potencial calculado. Se aplica un valor de $\alpha = \frac{1}{7}$.

RESULTADOS OBTENIDOS

En la tabla 1 se presentan los resultados de la velocidad promedio global.

Tabla 1.

Ubicación de 28 estaciones de la región sur y velocidad promedio global

Estación	Coordenadas	Velocidad	Estación	Coordenadas	Velocidad
Periodo	Latitud, longitud, altitud	Promedio Global (m/s)	Periodo	Latitud, longitud, altitud	Promedio Global (m/s)
1	Concepción. 2017-2018. 14.34°, -90.79°, 482 msnm	0.18	15	Bonanza. 2007-2018. 14.08°, -91.19°, 29 msnm	1.45
2	Irlanda. 2007-2018. 14.15°, -91.43°, 20 msnm	0.72	16	Amazonas. 2008-2018. 14.47°, -90.77°, 21msnm	1.47
3	Xoluta. 2012-2018. 14.48°, -91.86°, 52 msnm	0.85	17	San Nicolas. 2012-2018. 14.18°, -91.6°, 20 msnm	1.48
4	Naranjales. 2011-2018. 14.37°, -91.48°, 91msnm	0.97	18	Magdalena. 2013-2018. 13.93°, -90.26°, 19 msnm	1.59
5	Chiquirines. 2016-2018. 14.56°, -92.04°, 13 msnm	1.13	19	La Giralda. 2011- 2018. 13.98°, -90.93, 20 msnm	1.62
6	Petén Oficina. 2008-2018. 14.26°, -91.41°, 51 msnm	1.16	20	Tulula. 2010-2018. 14.51°, -91.59°, 251 msnm	1.70
7	CENGICANA. 2008-2018. 14.33°, -91.05°, 297 msnm	1.19	21	El Bálsamo. 2008-2018. 14.28°, -91°, 280 msnm	1.71
8	Costa Brava. 2008-2018. 14.24°, -90.92°, 151msnm	1.23	22	Providencia. 2016-2018. 14.37°, -91.85°, 40 msnm	1.79
9	San Antonio. 2007-2018. 14°, -91.2°, 10 msnm	1.24	23	Bouganvilia. 2008-2018. 14.12°, -90.94°, 54 msnm	1.85
10	Puyumate. 2014-2018. 14.26°, -91.26°, 86 msnm	1.31	24	El Platanar. 2013-2018. 14.56°, -90.94°, 1572 msnm	1.92
11	San Rafael. 2010-2018. 14.02°, -90.63°, 9 msnm	1.39	25	Álamo. 2016-2018. 14.63°, -92.14°, 30 msnm	1.89
12	Tehuantepeq. 2008-2018. 14.17°, -91.1°, 67 msnm	1.39	26	Candelaria. 2015-2018. 13.91°, -90.56°, 5 msnm	2.17
13	Lorena. 2011-2018. 14.52°, -91.42°, 340 msnm	1.40	27	Cocales. 2017-2018. 14.38°, -91.2°, 215 msnm	2.18
14	Trinidad. 2008-2018. 14.15°, -90.84°, 67 msnm	1.45	28	La Máquina. 2018. 13.9°, -90.33°, 17 msnm	2.65

Fuente: elaboración propia



Figura 1. Ubicación de estaciones de ICC en región sur de Guatemala.

El proceso de análisis que se realiza en todas las estaciones se muestra en detalle para la estación Bouganvilia, que se elige con el criterio de reportar la velocidad promedio global más alta y contar con registros de al menos 10 años.

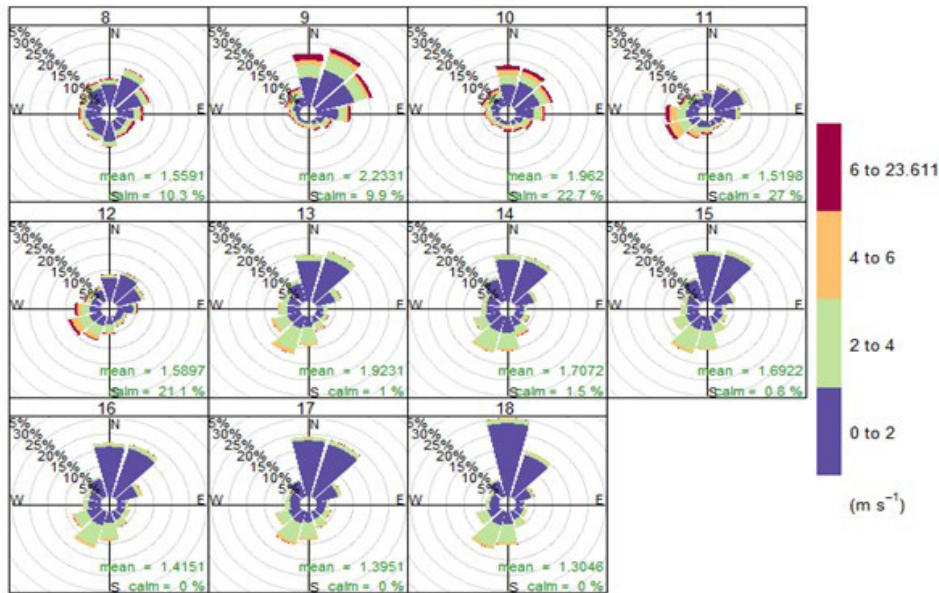


Figura 2. Rosa de vientos en estación Bouganvilia. 2008 a 2018.
Fuente: elaboración propia.

El proceso de análisis que se realiza en todas las estaciones se muestra en detalle para la estación Bouganvilia, que se elige con el criterio de reportar la velocidad promedio global más alta y contar con registros de al menos 10 años.

En la figura 2 se observa que solamente en los años 2009, 2010 y 2011

Las variaciones de la componente del viento en diferentes horarios del día se presentan en lapsos de 15 minutos en los diagramas de cajas de la figura 3, en la que se identifica que la componente cercana a 200 grados azimutales predomina entre las 9:00 y de las 18:00 horas; en el horario restante cambia a una componente Sur y Suroeste.

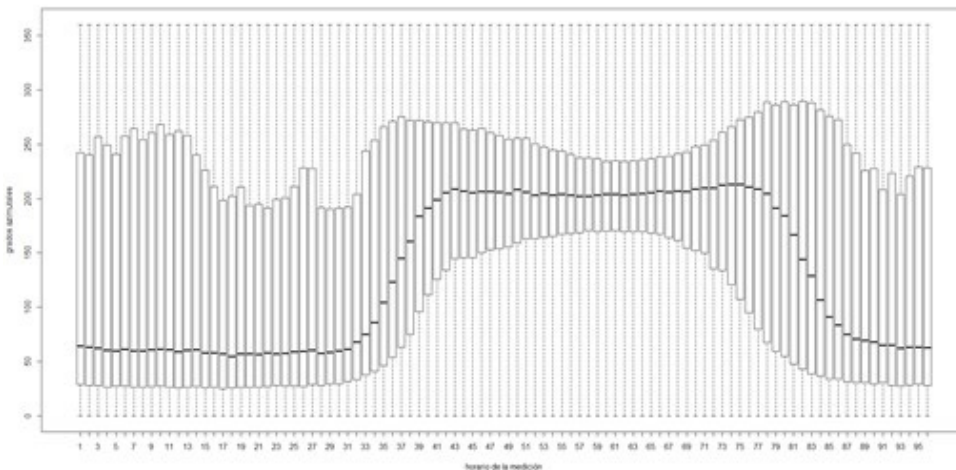


Figura 3. Patrones diarios de dirección del viento. 2008 a 2018.
Fuente: elaboración propia.

Se describen las características del viento con base en la escala de Beaufort (Villarrubia, 2013).

Tabla 2.

Velocidad del viento en estación Bouganvilia de acuerdo con escala de Beaufort

Escala de Beaufort	V (m/s)	Porcentaje	Descripción
0	0 – 0.4	26.9 %	Calma
1	0.5 – 1.5	29.4 %	Brisa muy ligera
2	1.6 – 3.4	28.4 %	Brisa ligera
3	3.5 – 5.5	11.5 %	Pequeña brisa
4	5.5 – 8	2.9 %	Moderado

Fuente: elaboración propia

En general, la velocidad promedio global en 17 estaciones caracteriza al viento como brisa muy ligera y en 9 como brisa ligera.

A continuación, se muestran los parámetros de la distribución de Weibull para seis estaciones en las cuales se calcula y estima el potencial eólico, aunque se estudia la bondad de ajuste en todas en las estaciones.

Tabla 3
Parámetros de la distribución de Weibull

Estación	k	c	Media	Mediana	Min	Máx	DE
Amazonas	1.16	1.52	1.47	0.90	0.04	7.79	1.36
Bouganvilía	1.61	2.09	1.85	1.34	0.14	6.46	1.25
Cengicaña	1.54	1.33	1.19	0.91	0.06	5.19	0.82
San Antonio	2.05	1.39	1.23	1.08	0.03	5.88	0.63
Bonanza	1.66	1.65	1.47	1.06	0.14	5.42	0.91
Tulula	2.34	1.97	1.74	1.42	0.23	5.16	0.79

Fuente: elaboración propia

En la figura 4 se compara la distribución de Weibull con el histograma de frecuencias de velocidad del viento en la estación Bouganvilía.

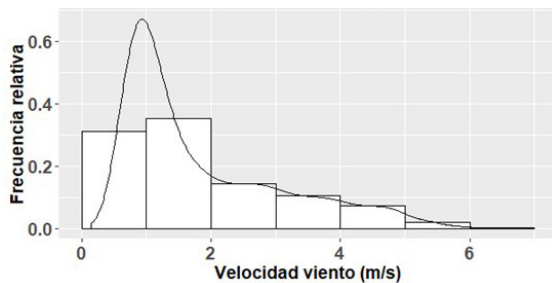


Figura 4.
Distribución de Weibull e histograma. Estación Bouganvilía.

Fuente: elaboración propia.

Se presenta en detalle el procedimiento que se aplica a los registros de la estación Bouganvilía y en la tabla 4 se presentan los resultados para las seis estaciones de interés.

Potencial eólico a 10 m

La altitud sobre el nivel del mar de esta estación es de 60 metros. Los valores de los parámetros de Weibull son $k=1.61$ y $c=2.09$.

$$\frac{\langle P_d \rangle}{A} = \frac{1}{2} \rho \langle v^3 \rangle$$

$$\rho = \rho_0 e^{-\left(\frac{0.297 H_m}{3048}\right)} = 1.225 e^{-\left(\frac{0.297(60)}{3048}\right)} = 1.2179$$

$$\langle v^3 \rangle = c^3 \Gamma\left(1 + \frac{3}{k}\right) = (2.09)^3 \Gamma\left(1 + \frac{3}{1.61}\right)$$

$$= (2.09)^3 * 1.76915 = 16.15$$

$$\frac{\langle P_d \rangle}{A} = \frac{1}{2} * 1.2179 * 16.15 = 9.8352 \frac{W}{m^2}$$

Potencial eólico a 30 m

$$\frac{(\text{Potencial eólico})^*}{\text{Potencial eólico}} \approx \left(\frac{z^*}{z}\right)^{3\alpha}$$

$$\left(\frac{\langle P_d \rangle}{A}\right)_{60} \approx \left(\frac{\langle P_d \rangle}{A}\right)_{10} \left(\frac{30}{10}\right)^{3\left(\frac{1}{7}\right)}$$

$$\left(\frac{\langle P_d \rangle}{A}\right)_{60} \approx \left(\frac{\langle P_d \rangle}{A}\right)_{10} * \left(\frac{30}{10}\right)^{3\left(\frac{1}{7}\right)}$$

$$= 9.8352 * 1.6013 = 15.75 \frac{W}{m^2}$$

Potencial eólico a 50 m

$$\left(\frac{\langle P_d \rangle}{A}\right)_{60} \approx \left(\frac{\langle P_d \rangle}{A}\right)_{10} * \left(\frac{50}{10}\right)^{3\left(\frac{1}{7}\right)}$$

$$= 9.8352 * 1.9932 = 19.60 \frac{W}{m^2}$$

Tabla 4
Potencial eólico a diferentes alturas

Estación	Potencial 10m	Eólico 30m	(W/m ²) 50m
Amazonas	2.75	4.41	5.49
Bouganvilía	9.83	15.75	19.60
Cengicaña	2	3.20	3.99
San Antonio	2.13	3.41	4.24
Bonanza	4.63	7.40	9.22
Tulula	5.28	8.44	10.52

Fuente: elaboración propia

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

De acuerdo con Villarrubia (2013), en los estudios de caracterización del viento es ideal contar con datos de periodos temporales de 25 a 30 años, sin embargo, De la Cruz, Valencia y Vanegas (2018) reportan resultados con datos de 10 años y Soler, Sánchez y Borrego (2015), de 1 año. Para el estudio que se reporta se considera que la información disponible en las 28 estaciones que se analizan es suficiente para la descripción del comportamiento de la intensidad y la componente del viento en la región sur, así como para el cálculo y estimación del potencial eólico, que posteriormente pueda constituirse en una línea base cuando se cuente con más información.

A partir de los gráficos de rosas de viento es posible identificar un grupo de estaciones en las que el viento presenta una componente predominante Norte y Noreste con registro de velocidades de viento que en su mayoría no superan los 4m/s. Hay otro grupo de estaciones que presentan predominancia en la componente Sur y Suroeste y un grupo más reducido con prevalencia en la componente Noroeste.

El análisis de los registros de la estación Bouganvilia permite identificar gran variabilidad en las componentes, así como velocidades promedio bajas que caracterizan el viento como una brisa ligera, de acuerdo con la escala de Beaufort. Este comportamiento es similar en el resto de las estaciones.

Los diagramas de cajas que representan el comportamiento de la componente del viento para cada una de las 96 mediciones diarias desde las 0 horas hasta las 23:45, evidencian que entre las 9:00 y 18:00 horas (aproximadamente), existe una menor dispersión de los datos, es decir, el viento muestra componentes que están cerca de un valor que está representado por la mediana. En ese horario se identifica la mayor frecuencia en dirección Sur- Suroeste (entre 180° y 250°), Sureste (de

150° a 180°) y en una tercera posición de mayor frecuencia en la componente Noreste (de 35° a los 60°).

Con relación a los patrones observados en el comportamiento de la velocidad, se identifica un incremento en el horario de 9:00 a 18 horas, por con valores máximos a las 14 horas, aunque con velocidades bajas. Además, se identifica un grupo de 6 estaciones en las que se registran incrementos de velocidad del viento en horas de la madrugada, aunque su comportamiento corresponde a ráfagas de viento cuya velocidad es menor a la velocidad promedio.

Se coincide con otros autores (Aragón, Serna y Solano, 2019; Zetina et al, 2019; Constante, Cuesta y Jijón, 2021) en cuanto a la bondad del ajuste de la distribución de Weibull al comportamiento empírico de los datos registrados en las 28 estaciones ubicadas a una altitud que varía de 5 msnm a 1572 msnm.

De acuerdo con Guevara (2013) se requiere de velocidades entre 4m/s y 6m/s para considerar un potencial eólico mínimo por lo que se establece que el potencial eólico estimado, es insuficiente para la generación de energía a gran escala por lo que se limita su utilidad para actividades como bombeo de agua, carga de baterías y otras similares de uso domiciliar.

1. El viento de la región sur de Guatemala se ubica en la categoría 1 (61%) y en la categoría 2 (39 %) de la escala de Beaufort; los datos de velocidad se ajustan a una distribución de Weibull según el criterio de máxima verosimilitud.
2. El comportamiento de la componente del viento se estabiliza alrededor de la mediana de la distribución de datos, entre las 9:00 y las 18:00 horas, con dirección predominante Norte y Noreste y registro de velocidades que en su mayoría no superan los 4m/s, que se estima corresponde a la manifestación del viento alisio predominante

en la región centroamericana. Hay otro grupo de estaciones que presentan predominancia en la dirección Sur y Suroeste y un grupo más reducido con prevalencia en la dirección Noroeste.

3. El potencial eólico en la región sur de Guatemala calculado para velocidades de viento a 10 m y estimado para 30 m y 50 m de altura, es insuficiente para la generación de energía a gran escala, su aprovechamiento se reduce a actividades como bombeo de agua, carga de baterías y otras similares.

RECOMENDACIONES

1. Realizar estudios para identificar patrones de las características mensuales del viento y sus relaciones con variables como la temperatura, precipitación, presión atmosférica, orografía y otras.
2. Desarrollar estudios de potencial eólico en otras regiones del país para las cuales se cuente con registros de la velocidad y componentes del viento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amaya-Martínez, P.A., Saavedra-Montes, A.J. y Arango-Zuluaga, E.I. (2014). A Statistical Analysis of Wind Speed Distribution Models In The Aburrá Valley, Colombia. *CT&F Ciencia, Tecnología y Futuro*, 5(5), 121–136. Recuperado de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S012253832014000200007&lng=en&nrm=iso&tlng=en
- Aragón-Moreno, J. A., Serna-Castaño, E. D. y Solano-Romero, D. S. (2019). Estudio climatológico de los vientos para la ciudad de Bogotá en el periodo 2010 - 2016. *Entramado*, 15(2), 286-307. <https://doi.org/10.18041/19003803/entramado.2.5733>
- Bolaños, P., Yaulema, J., Gavilánez, O. Avayaca, B. (2020). Redes neuronales en la predicción de la velocidad del viento. *Polo del Conocimiento* (Edición núm. 45) 5(5), 4-40, <https://doi.org/10.23857/pc.v5i5.1398>
- De la Cruz Buelvas, J., Valencia Ochoa, G., y Vanegas Chamorro, M. (2018). Estudio estadístico de la velocidad y la dirección del viento en los departamentos de Atlántico y Bolívar en Colombia. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 26(2), 319-328. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052018000200319>
- Constante, J., Cuesta, A. y Jijón, D. (2021). Métodos de ajuste de Weibull de dos parámetros en series de viento y estimación del Potencial Eolo-eléctrico. *Revista Técnica Energía*, 17(II), 74-82. DOI: 10.37116/REVISTAENERGIA.V17.N2.2021.424
- Galán, N., Orozco, E., Mejías, N. y Mellado, C. (2015). Análisis Estadístico de la Velocidad del Viento en Mazatlán, Sinaloa. *Revista de Análisis Cuantitativo y Estadístico*, 2 (4), 288-294. Recuperado de: https://www.ecorfan.org/bolivia/researchjournals/Analisis_Cuantitativo_y_Estadistico/analisis4/3%20Analisis%20Cuantitativo%20y%20Estadistico%20Vol%202%20Num%204%20288-294.pdf
- Guevara Díaz, J. M. (2013). Cuantificación del perfil del viento hasta 100 m de altura desde la superficie y su incidencia en la climatología eólica. *Terra. Nueva Etapa*, XXIX (46), 81-101. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=72130181006>
- Otero, F., Cerne, S., Campetella, C. (2017). Estudio preliminar de la velocidad del viento en San Julián en referencia a la generación de energía eólica. *Meteorológica*, 42(2), 59-79. https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/57456/CONICET_Digital_Nro.97c6c7e8-f1f2-4613-b673-6107517a725b_d.pdf?sequence=5&isAllowed=y
- Patel, M. (2006). *Wind and Solar Power Systems: Design, Analysis, and Operation* (2nd

ed.). Unites States: Taylor & Francis.

- Pérez, J., Arriola, J. y Espinal, M. (2017). Potencia aprovechable y variabilidad del viento caso típico distrito de Pimentel. *Revista TECNIA*, 27(2), 63-71. <https://dx.doi.org/10.21754/tecnia.v27i2.176>
- Pino, R., Parreño, J., Priore, P. y Gómez, A. (2004). Pronóstico de la Velocidad y Dirección del Viento mediante Redes Neuronales Artificiales. *VIII Congreso de Ingeniería de Organización*, 905-914. Leganés. Recuperado de <http://adingor.es/congresos/web/articulo/detalle/a/1208https://doi.org/10.35290/ro.v1n3.2020.368>
- Soler, E., Sánchez, L. y Borrego, R. (2015). Caracterización del viento para evaluar su potencial energético en la Isla de la Juventud. *Ciencias de La Tierra y El Espacio*, 16(2), 164–175. Recuperado de <https://silo.tips/download/caracterizacion-del-viento-para-evaluar-su-potencial-energetico-en-la-isla-de-la>
- Terrero, E., Legrá, A. y Carcassés, J. (2014). Procedimiento para diseñar el muestreo eólico en una región promisoría. Parte I *Teoría y algoritmo general. Ingeniería Energética, Vol. XXXVI*, 200-209. Recuperado de: <http://scielo.sld.cu/pdf/rie/v36n2/rie09215.pdf>
- Vargas Guevara, C. L. . (2020). Evaluación del potencial eólico y predicción de la velocidad de viento con Minería de Datos. *Revista ODIGOS*, 1(3), 9–25. <https://doi.org/10.35290/ro.v1n3.2020.368>
- Villarrubia, M.(2013). *Ingeniería de la energía eólica*. Alfaomega Grupo Editor: México.
- Zetina-Moguel, C. E., et al. (2019). Aproximación a la modelación estocástica del viento de turbonadas en la ciudad de Mérida, Yucatán. *Ingeniería*, 23(3), 8-22. Recuperado de: <https://www.revista.ingenieria.uady.mx/ojs/index.php/ingenieria/article/view/161/149>

INFORMACIÓN DE LOS AUTORES

Licenciada en Matemática Aplicada, Mayra Virginia Castillo Montes, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 1997. Doctora en Educación, Universidad de La Salle, Costa Rica, 2009.

Afiliación laboral: Unidad de Modelación Matemática e Investigación, Facultad de Ingeniería. USAC.

Licenciado en Matemática Aplicada, William Adolfo Polanco Anzuetto, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2003.

Afiliación Laboral: Unidad de Modelación Matemática e Investigación, Escuela de Ciencias, Facultad de Ingeniería. USAC.

Dr. en Cambio Climático y Sostenibilidad, Paris Francisco Rivera Ramos, Escuela de Estudios de Postgrado, Facultad de Ingeniería. USAC.

Afiliación laboral: Instituto de Investigaciones de Ingeniería, Matemáticas y Ciencias Físicas. Universidad Mariano Gálvez de Guatemala.