



INVESTIGACIÓN

<https://doi.org/10.22463/issn.0122-820X>

Análisis estadístico de variables climatológicas en la ciudad de Cúcuta.

Heybert Alberto Ortiz-Díaz*, Christian David Escobar-Amado^b, Sergio Basilio Sepúlveda-Mora^c

^aIngeniero electrónico, Universidad Francisco de Paula Santander Cúcuta, Colombia

^bIngeniero electrónico, Joven investigador, Universidad Francisco de Paula Santander, Cúcuta, Colombia

^cMaster of Science in Electrical and Computer Engineering, Universidad Francisco de Paula Santander, Cúcuta, Colombia

Recibido el 23 de Julio de 2017; Aprobado el 02 de Diciembre de 2017.

PALABRAS CLAVE

Climograma, coeficiente de correlación de Pearson, variables climatológicas.

Análisis estadístico de variables climatológicas en la ciudad de Cúcuta.

El objetivo principal de este trabajo es presentar una estadística descriptiva de las variables climatológicas en la ciudad de San José de Cúcuta, buscando conocer cuál es su interrelación y cómo ésta se ha mantenido en el tiempo, determinando así posibles aplicaciones de estas variables en diferentes áreas. Para el desarrollo de este análisis se calculó el coeficiente de correlación de Pearson entre las variables de humedad relativa, radiación solar, brillo solar, temperatura ambiente y velocidad del viento. Se graficaron climogramas y las relaciones de las variables junto con su respectiva regresión lineal, además de la variación de éstas a través de los años y los meses. Se logró evidenciar que las variables climáticas analizadas se encuentran correlacionadas inversa y directamente entre ellas, como la temperatura y la humedad relativa con un coeficiente de -0.9056, y la temperatura y la radiación solar con un coeficiente de 0.7.

KEYWORDS

Climogram, climatological variables, Pearson correlation coefficient,

Statistical analysis of climatological variables in the city of Cucuta

The main objective of this work is to present descriptive statistics of the climatological variables in the city of San José de Cucuta. In this study, we sought for the interrelation among the variables and how they behave over time, thus we determined possible applications of these variables in different areas. To develop this analysis, we calculated the correlation coefficient among relative humidity, solar radiation, sunshine duration, temperature and wind speed. We generated climographs and determined linear regressions to establish the relationship among the variables under consideration and their variability along months and years. We evidenced that the analyzed climatological variables are inversely and directly correlated among them; for example, temperature and relative humidity have a correlation coefficient of -0.9056, while temperature and solar radiation have a correlation coefficient of 0.7.

PALABRAS CLAVE

Climograma, coeficiente de correlação de Pearson, variáveis climatológicas

Análise estatística de variáveis climatológicas e possíveis aplicações no município de Cúcuta.

O principal objetivo deste trabalho é apresentar uma estatística descritiva das variáveis climatológicas na cidade de San José de Cúcuta, buscando saber qual a sua inter-relação e como ela foi mantida ao longo do tempo, determinando assim possíveis aplicações dessas variáveis em diferentes áreas. Para o desenvolvimento desta análise, calculou-se o coeficiente de correlação de Pearson entre as variáveis de umidade relativa, radiação solar, brilho solar, temperatura ambiente e velocidade do vento. Os climogramas e as relações das variáveis foram plotados juntamente com sua respectiva regressão linear, além da variação destes ao longo dos anos e meses. Foi possível mostrar que as variáveis climáticas analisadas estão correlacionadas inversa e diretamente entre elas, como temperatura e umidade relativa com um coeficiente de -0.9056 e temperatura e radiação solar com coeficiente de 0,7.

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: heybertalbertood@ufps.edu.co, heybertortiz@ieee.org (Heybert Alberto Ortiz Diaz).

La revisión por pares es responsabilidad de la Universidad Francisco de Paula Santander.

<https://doi.org/10.22463/issn.0122-820X>

Este es un artículo bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

FORMA DE CITAR: Heybert Alberto Ortiz-Díaz , Christian David Escobar-Amado, Sergio Basilio Sepúlveda-Mora, “Análisis estadístico de variables climatológicas en la ciudad de Cúcuta. , *Respuestas*, vol. 23, no. 1, pp. 39 - 44, 2018.

Introducción

La climatología es la ciencia encargada de estudiar el clima y sus variaciones; permite de igual manera, el análisis detallado de las variables meteorológicas de una región, realizando interpretaciones y deducciones prácticas de las mismas. Al estudiar el comportamiento de estas variables meteorológicas se puede definir claramente la idiosincrasia de una determinada región [1]; conocer el clima de una región permite saber ¿cuáles lugares son óptimos para habitar?, ¿cuál fruta o verdura se puede cultivar en esa zona?, ¿cuáles son las características de la fauna y flora?, y otras actividades que requieran conocer el clima para su funcionamiento como, por ejemplo: industriales, ambientales, energéticas, entre otras [2]. La ciudad de san José de Cúcuta está situada aproximadamente a 7°54' latitud Norte de la Línea Ecuatorial, haciendo que no existan las estaciones convencionales, por ende, ésta es una ciudad que sólo posee dos estaciones: la estación seca y la estación lluviosa. La estación seca se caracteriza por presentar una humedad relativa que puede alcanzar valores máximos del 50% y en la estación lluviosa se puede alcanzar una humedad relativa promedio entre 70% y el 100% [3]. Al respecto se han realizado estudios relacionados con el Potencial eólico y solar de la misma, los cuales han determinado que la cantidad de radiación solar presente en la ciudad es mayor, comparada con la potencia energética que se puede llegar a extraer de los sistemas de generación eólica [4] [5]. También se cuentan con estudios de la variabilidad climática a lo largo de los años, en donde se evidencia el incremento en la temperatura y en las precipitaciones, demostrando el cambio climático presente en la ciudad [6]. Actualmente no se cuentan con estudios estadísticos que abarquen una mayor cantidad de variables meteorológicas en la ciudad de Cúcuta. Esta investigación tiene como objetivo principal presentar una descripción estadística de las variables obtenidas de dos estaciones meteorológicas, pertenecientes al Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). Los resultados obtenidos del análisis estadístico de estos datos se muestran en gráficas y tablas realizadas mediante un software estadístico especializado, lo cual facilita la interpretación de la información.

Materiales y métodos.

El desarrollo de la investigación se dividió en dos fases. La primera fase consistió en la recolección y organización de datos horarios y mensuales de las dos estaciones meteorológicas analizadas, las cuales pueden observarse en la tabla I. La segunda fase, consistió en el análisis estadístico de las variables meteorológicas consignadas en las bases de datos de cada una de las estaciones.

Tabla I. Recolección y organización de datos horarios y mensuales de las dos estaciones meteorológicas analizadas

UBICACIÓN	LATITUD	LONGITUD	INSTITUCIÓN ENCARGADA
Aeropuerto Internacional Camilo Daza	7°55'49"N	72°30'33" O	IDEAM
Universidad Francisco de Paula Santander (UFPS)	7°53'38"N	72°30'28" O	IDEAM

La estación meteorológica ubicada en la UFPS contiene información almacenada con frecuencia horaria, por otra parte, la estación ubicada en el aeropuerto tiene un registro mensual, por consiguiente, los análisis fueron diferentes para cada estación.

En tal sentido, se solicitaron al Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) las bases de datos existentes de las dos estaciones meteorológicas de la ciudad. Posteriormente, los datos fueron organizados con base a las variables climáticas de temperatura ambiente, humedad relativa, radiación solar, brillo solar y velocidad del viento. Sin embargo, debido a fallas presentadas en los instrumentos de medición y/o comunicación de las estaciones, hay datos faltantes en algunos lapsos de tiempo, por lo tanto, los datos fueron filtrados con el fin de realizar un correcto análisis, trabajando así con la información completa de todas las variables climáticas objeto de estudio. Es de aclarar que los datos utilizados de la estación UFPS hacen parte de un registro desde el año 2005 hasta el 2015, mientras que de la estación del aeropuerto se utilizaron los datos desde 1944 hasta el 2014.

Se realizó un análisis descriptivo y gráfico de los datos, que comprenden climogramas, correlaciones y regresiones lineales entre las variables trabajadas pertenecientes a la estación UFPS. Para esto, se seleccionó un rango de tiempo en el cual todas las variables tuvieran un valor significativo, siendo éste, entre las 06:00 y las 19:00 horas, porque de otra manera los datos en cero de radiación solar y brillo solar afectarían la correlación con las otras variables.

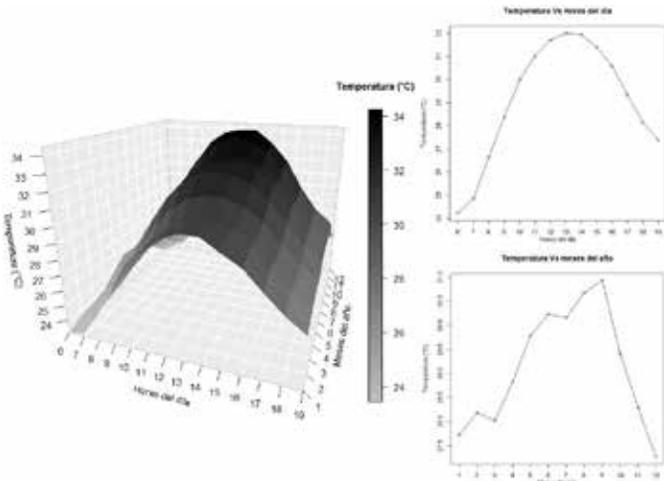
Las variables analizadas y sus unidades de medición fueron las siguientes:

- Temperatura ambiente. Relacionada con la sensación térmica que se percibe en un lugar específico del globo terrestre sobre un cuerpo, y que puede ser medida a través de un termómetro, sensores y/o termistores. La temperatura se puede expresar en tres escalas mundialmente conocidas: Fahrenheit (°F), Kelvin (K) y Celsius (°C) [7], en esta última se encuentran los datos de temperatura que fueron utilizados en esta investigación.
- Radiación solar. Está conformada por el conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el Sol; ésta se distribuye desde el ultravioleta ($\lambda = 250$ nm) hasta el infrarrojo ($\lambda = 2500$ nm) pasando por la luz visible. En lo que respecta al estudio la cantidad de radiación solar medida en la superficie terrestre de la ciudad de Cúcuta se muestra en unidades de W/m² [8].
- Brillo solar. Es la cantidad de horas del día en las cuales incide la luz solar sobre una superficie [9].
- Humedad relativa. Hace referencia a la cantidad porcentual de presión de vapor de agua presente en el aire [10].
- Velocidad del viento. Representa la velocidad con la cual se mueve el aire sobre la corteza terrestre. Representa la energía presente en el aire atmosférico. Ésta se expresa en unidades de m/s [10].

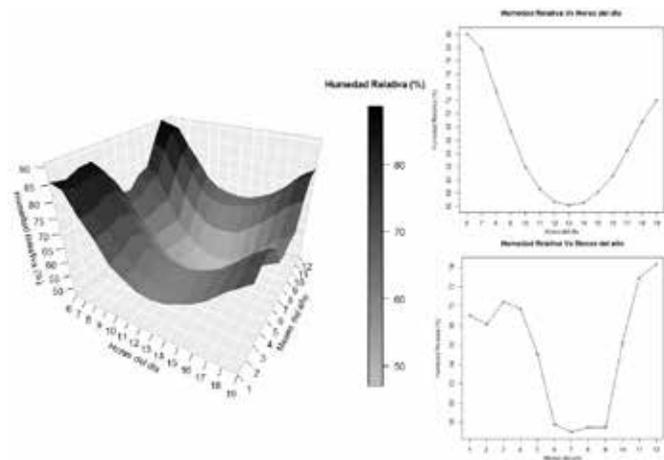
• Precipitación. Es la cantidad de agua que cae desde la atmósfera hacia la corteza terrestre, se expresa en mm, lo que representa el espesor formado por la precipitación. 1 mm equivale a 1 litro/m². [10].

Resultados y Discusión

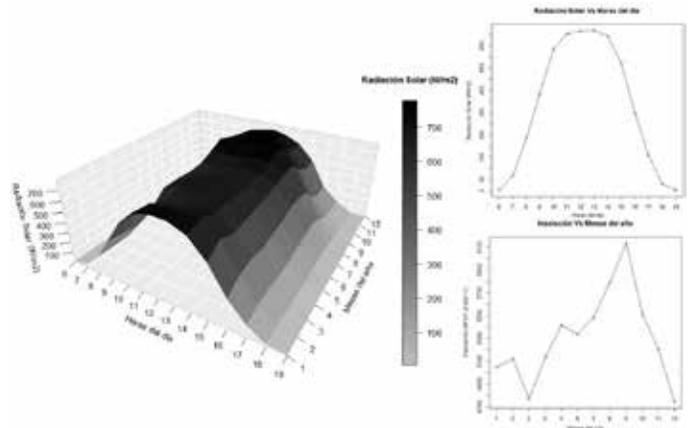
Para realizar el análisis del comportamiento de las variables climáticas, se realizó un filtro en el cual se tuvo en cuenta únicamente la información que se encontraba completa para cada una de las variables, realizado éste, se analizó individualmente el comportamiento promedio de cada una de las variables climáticas a lo largo del día en los doce meses del año; las gráficas 1, 2, 3, 4 y 5, corresponden a las intensidades de las variables de temperatura ambiente, humedad relativa, radiación solar, brillo solar y velocidad del viento respectivamente.



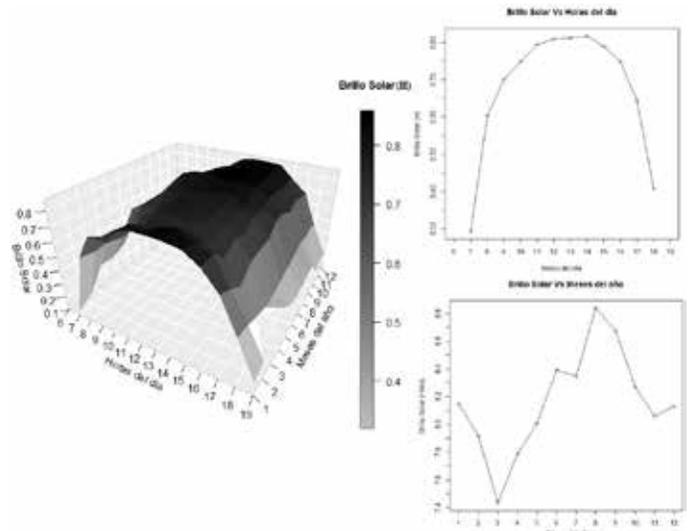
Gráfica 1. Comportamiento de la temperatura ambiente en Cúcuta.



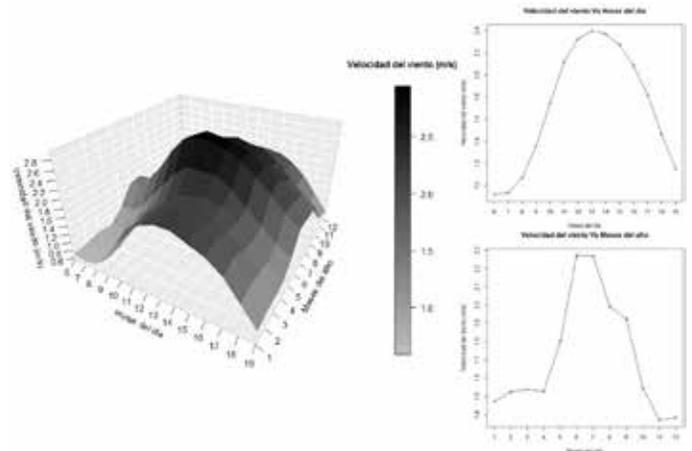
Gráfica 2. Comportamiento de la humedad relativa en Cúcuta.



Gráfica 3. Comportamiento de la radiación solar en Cúcuta.



Gráfica 4. Comportamiento del Brillo Solar en Cúcuta.



Gráfica 5. Comportamiento de la velocidad del viento en Cúcuta.

De las gráficas 1 y 2 se puede inferir que los meses de marzo, abril, noviembre y diciembre son los más húmedos y la temperatura alcanza los valores más bajos. En ese sentido, se puede comprobar en la gráfica 7, el comportamiento de la precipitación en la ciudad a través de los últimos 65 años. La gráfica 3 demuestra el excelente potencial solar que tiene la ciudad a lo largo de todo el año, su insolación promedio mínima es de 4743 W*m⁻²*día⁻¹, lo cual representa 4.7 horas pico solares mínimas. Por otra parte, de la gráfica 5 se puede concluir que los meses con mayor potencial eólico son junio, julio y agosto.

Análisis estadístico de variables climatológicas en la ciudad de Cúcuta.

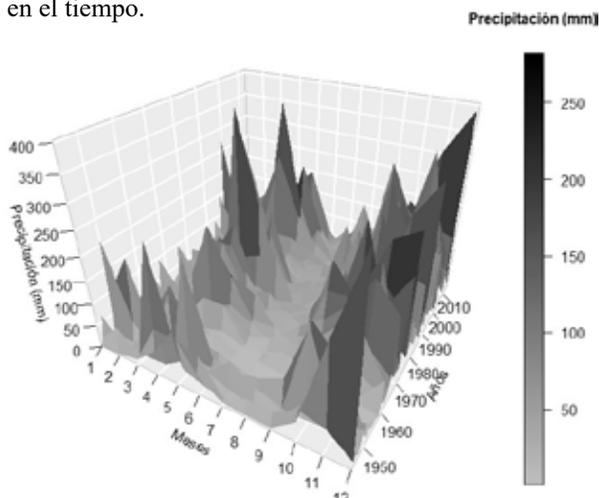
Como se observa en la tabla II, algunas variables climáticas tienen una relación inversamente proporcional, como es el caso de la velocidad del viento y la humedad relativa, a medida que hay más viento, la humedad disminuye, esto indica que la temperatura ambiente incrementa al disminuir la humedad; este comportamiento se evidencia en las gráficas 1 y 2.

Por otro lado, la temperatura está ligada de forma directa a la radiación solar que depende a su vez del brillo solar, el cual, indica la cantidad de tiempo que incidió el sol sobre la superficie terrestre, lo que se puede convertir en mayor o menor radiación solar. Desde la anterior perspectiva, las condiciones climáticas expuestas en la tabla II hacen de la ciudad de Cúcuta un lugar apto para la explotación de recursos energéticos, tales como la energía solar, debido a la alta radiación presente a lo largo del año; la energía eólica también es una buena opción a la hora de hablar de energías renovables en la ciudad; este tipo de generación tiene sus puntos más altos en los meses de junio, julio y agosto, sin embargo es recomendable sólo si se utilizan generadores eólicos de baja potencia [6]. Además, estas condiciones ambientales permiten llevar a cabo actividades de agricultura en el cultivo de arroz, yuca, plátano y café; también es adecuado el clima para las explotaciones pecuarias, como la piscicultura (mojarra y cachama) y la ganadería.

Tabla: II Condiciones climáticas

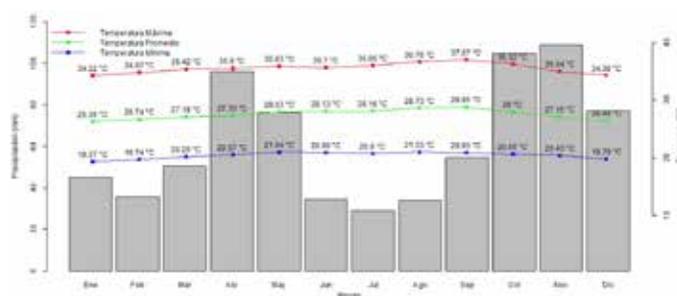
CARACTERÍSTICA	TEMP. AMBIENTE (°C)	HUMEDAD RELATIVA (%)	Insolación (W*m-2*día-1)	BRILLO SOLAR (h/día)	VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s)
Valor mínimo	22.0	23	4743	7.44	0.20
Promedio	29.2	64	5309	8.2	1.65
Valor máximo	39.7	100	6133	8.84	5.63
Mes con el menor promedio	Diciembre	Septiembre	Marzo	Marzo	Diciembre
Mes con el mayor promedio	Septiembre	Diciembre	Septiembre	Septiembre	Julio

Con la segunda base de datos ubicada en el Aeropuerto Internacional Camilo Daza se realizó un análisis del comportamiento de la temperatura ambiente y las precipitaciones (mm) a lo largo de 65 años. En la gráfica 6 se aprecia que en las últimas décadas el comportamiento de la lluvia se ha mantenido en el tiempo.



Gráfica 6. Comportamiento de la precipitación a través de los años.

En la gráfica 7, se puede apreciar el resumen de los datos de precipitación, temperatura ambiente máxima, mínima y promedio. Esta gráfica recibe el nombre de climograma.



Gráfica 7. Climograma de la ciudad de Cúcuta.

En el climograma de la gráfica 7 se observan las dos estaciones que se presentan en los países ecuatoriales, con una temperatura mínima promedio de 20°C y una máxima promedio de 37°C. En los meses de octubre y noviembre se presenta la mayor cantidad de precipitaciones en la ciudad de Cúcuta y en los meses de junio, julio y agosto, el valor de precipitaciones es el más bajo.

Consideremos ahora la relación que tienen las variables climáticas entre sí; para ello se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson, tal como se indica en la tabla III., se puede apreciar que las variables de radiación solar, humedad relativa, temperatura ambiente y velocidad del viento se encuentran correlacionadas inversas y directamente entre ellas, y el valor más alto del coeficiente de correlación es de -0.9056, dato que correlacional entre la humedad relativa y la temperatura ambiente.

Igualmente, el brillo solar tiene valores de correlación muy bajos respecto a las demás variables; esto se debe a que la ciudad de Cúcuta posee un clima tropical y el sol está presente en promedio durante el 90% de las horas del día (06:00-19:00 horas), tal y como se evidenció en la tabla II, por lo tanto, no es relevante realizar una correlación entre el brillo solar y las demás variables, ya que éste se mantiene en la mayoría de las horas del día con un valor alto.

En la tabla IV, se observa el coeficiente de determinación (R²) entre variables.

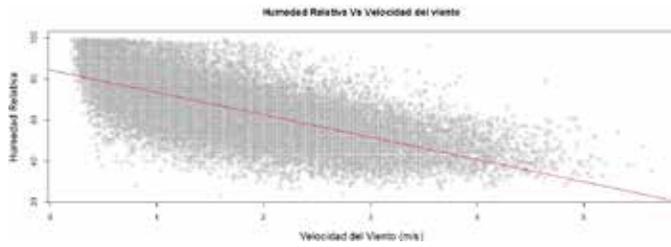
Tabla III. Coeficiente de correlación de Pearson entre variables climáticas

VARIABLES	Humedad relativa	Temperatura ambiente	Velocidad del Viento	Brillo Solar	Radiación Solar
Humedad relativa	1	-0.9056	-0.6873	-0.2931	-0.5714
Temperatura ambiente	-0.9056	1	0.6340	0.3694	0.7001
Velocidad del Viento	-0.6873	0.6340	1	0.1950	0.4415
Brillo Solar	-0.2931	0.3694	0.1950	1	0.3773
Radiación Solar	-0.5714	0.7001	0.4415	0.3773	1

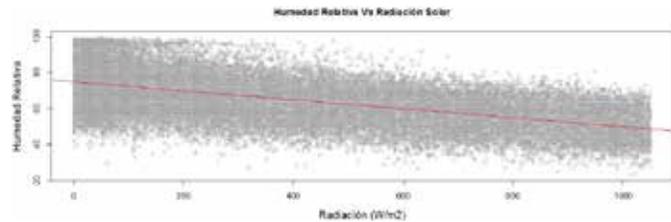
Tabla IV. Coeficiente de determinación (R²) entre variables climáticas.

VARIABLES	Humedad relativa	Temperatura ambiente	Velocidad del Viento	Brillo Solar	Radiación Solar
Humedad relativa	1	-0.9056	-0.6873	-0.2931	-0.5714
Temperatura ambiente	-0.9056	1	0.6340	0.3694	0.7001
Velocidad del Viento	-0.6873	0.6340	1	0.1950	0.4415
Brillo Solar	-0.2931	0.3694	0.1950	1	0.3773
Radiación Solar	-0.5714	0.7001	0.4415	0.3773	1

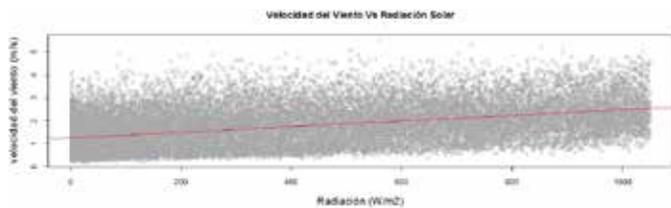
Por otro lado, se realizó una regresión lineal que permitiera determinar el comportamiento aproximado que tiene una variable con respecto a la otra, comportamiento que se puede evidenciar en las gráficas 8, 9, 10, 11, 12 y 13 junto con sus ecuaciones respectivas que representan la regresión lineal.



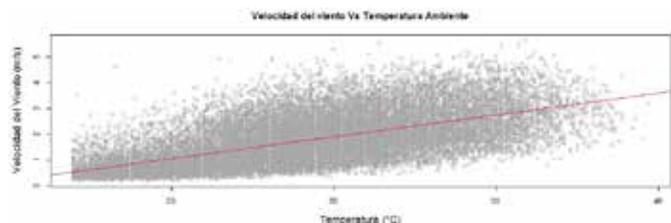
Gráfica 8. Regresión lineal entre humedad relativa y la velocidad del viento Fuente: Elaboración propia
 $Humedad = -10.93 * Velocidad\ del\ Viento + 84.41$ (1)



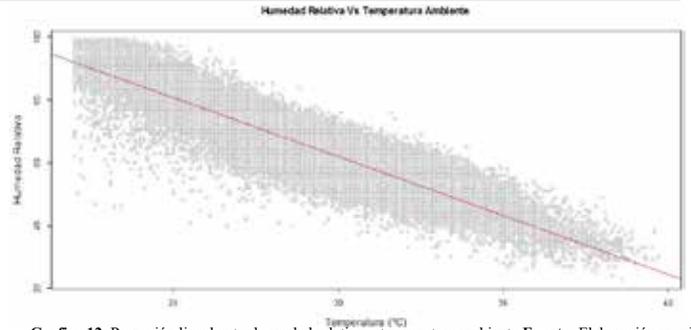
Gráfica 9. Regresión Lineal entre humedad relativa y radiación solar Fuente: Elaboración propia
 $Humedad = -0.02475 * Radiación + 74.91583$ (2)



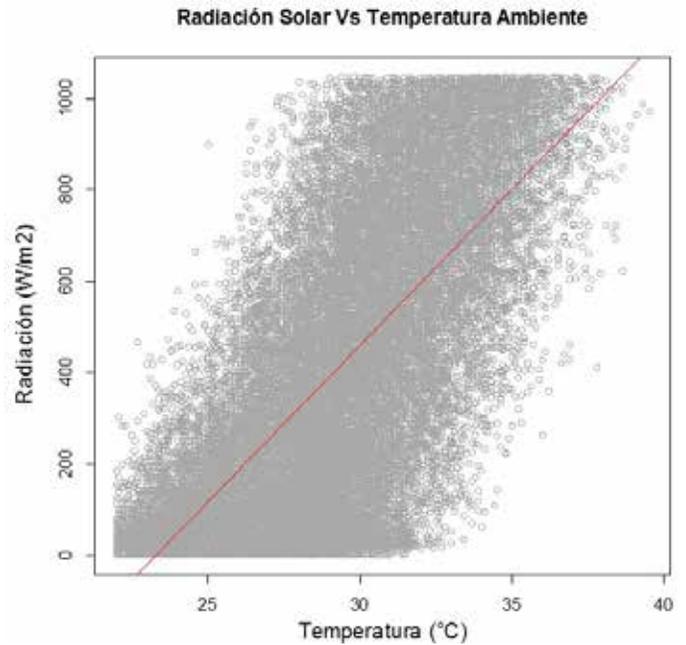
Gráfica 10. Regresión lineal entre velocidad del viento y radiación solar Fuente: Elaboración propia
 $Velocidad\ del\ viento = 0.001218 * Radiación + 1.258031$ (3)



Gráfica 11. Regresión lineal entre velocidad del viento y temperatura ambiente Fuente: Elaboración propia
 $Velocidad\ del\ Viento = 0.1697 * Temperatura - 3.1949$ (4)



Gráfica 12. Regresión lineal entre humedad relativa y temperatura ambiente Fuente: Elaboración propia
 $Humedad = -3.745 * Temperatura + 174.32$ (5)



Gráfica 13. Regresión lineal entre radiación solar y temperatura ambiente. Fuente: Elaboración propia
 $Radiación = 68.48 * Temperatura - 1595$ (6)

Conclusiones

La temperatura promedio anual de Cúcuta es de 27°C, la cual es una característica de un clima cálido. Esta temperatura es fundamental para el desarrollo de procesos agropecuarios como el cultivo de arroz [11], yuca [12], plátano [13], entre otros; así como también el engorde de especies piscícolas como la mojarra [14] y la cachama [15], la ganadería y la porcicultura también tienen una participación importante. Por otra parte, el mes más frío del año es enero con una temperatura promedio de 26.3°C, mientras en el mes de septiembre se alcanza una temperatura superior de 37.

La radiación solar promedio sobre la ciudad de Cúcuta es de 5309 W/m², lo que equivale a 5.3 horas solares pico (HSP). Este valor favorece la implementación de futuros sistemas fotovoltaicos o térmicos.

La cantidad total promedio de la precipitación durante el año es de 747.7438 mm y los meses donde se presenta más lluvia sobre la ciudad son octubre y noviembre, y los meses en donde se presenta una menor cantidad de precipitaciones son junio y julio.

Análisis estadístico de variables climatológicas en la ciudad de Cúcuta.

Sin embargo, durante los meses de menor lluvia el valor de la humedad fue el más bajo lo cual conllevó al incremento de la velocidad del viento; al encontrarse más despejado el cielo, la radiación solar y la temperatura ambiente incrementan igualmente. Con base en esto, en los meses de junio julio y agosto el potencial eólico y solar es mayor.

Referencias

- [1] Fundación española para la ciencia y la tecnología, Meteorología y climatología, Madrid, 2004.
- [2] Ministerio de agricultura de Chile, «Informativo para agricultores de la oficina de estudios y políticas agrarias No. 8,» Santiago de Chile, 2012.
- [3] M. Gonzalez, M. C. Medina y A. Spinola, «Clima ecuatorial. Climatología,» Sevilla, 2012.
- [4] F. A. Leal Gonzalez y M. M. Hernandez Cely, «Estudio del potencial eólico y solar de Cúcuta, Norte de Santander,» Revista Colombiana de tecnologías avanzada, vol. 2, n° 22, 2013.
- [5] J. C. Serrano Rico, G. G. Moreno Contreras y S. J. Figueroa Salgado, «Análisis de las características del viento y potencial de energía eólica para Cúcuta-Colombia,» de 8° Congreso iberoamericano de ingeniería mecánica, Cusco, 2007.
- [6] D. Alzate, E. Rojas, J. Mosquera y J. Ramon, «cambio climático y variabilidad climática para el periodo 1981-2010 en las cuencas de los ríos zulía y pamplonita, Norte de Santander-Colombia,» Revista Luna Azul, n° 40, pp. 127-153, 2015.
- [7] J. Sena, M. Pinheiro, A. Daniele, C. Teichrieb y P. Feldhaus, «Simulação do comportamento da temperatura do solo através da temperatura do ar,» Ciencia e natura, pp. 258-261, 2013.
- [8] Agencia Estatal de Meteorología, «La radiación solar,» [En línea]. Available: http://www.aemet.es/documentos/es/eltiempo/observacion/radiacion/Radiacion_Solar.pdf. [Último acceso: 03 04 2018].
- [9] A. Cargnelutti, R. Matzenauer, B. Radin y J. Tavares, «Número de años para la estimación de la media decenal de duración diaria del brillo solar en el Rio Grande do Sul,» Ciencia rural, vol. 42, n° 3, pp. 407-413, 2012.
- [10] M. M. Sierra Urrego, Establecer la asociación existente entre las variables meteorológicas temperatura, velocidad del viento y precipitación y las concentraciones de PM10 registradas en la red de calidad del aire de Bogotá DC, Bogotá, 2006.
- [11] Centro internacional de agricultura tropical, Producción eco-eficiente de arroz en América Latina, Cali, Colombia, 2010.
- [12] M. A. El-sharkawy, J. H. Cock y A. A. Held, «Photosynthetic responses of cassava cultivars (Manihot esculenta Crantz) from different habitats to temperature,» Photosynthesis research, vol. 5, n° 3, pp. 243-250, 1984.
- [13] J. C. Martínez Frias, «Propagación y técnicas de cultivo del Plátano (Musa paradisiaca),» Vinculando, 26 11 2012. [En línea]. Available: <http://vinculando.org/mercado/agroindustria/propagacion-y-tecnicas-de-cultivo-del-platano-musa-paradisiaca.html>. [Último acceso: 01 12 2017].
- [14] E. J. Nadal del Río, Cultivo de Camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*) y mojarra (*Tilapia nilotica*) en estanques rústicos en la RA. el Mingo, Cardenas Tabasco, Cardenas, Tabasco, 2002.
- [15] G. Poleo, J. V. Aranbarrio, L. Mendoza y O. Romero, «Cultivo de cachama blanca en altas densidades y en dos sistemas cerrados,» Pesquisa Agropecuária Brasileira, vol. 46, n° 4, pp. 429-437, 2011.