

DETERMINACIÓN DEL COMPORTAMIENTO METEOROLÓGICO DEL VIENTO EN LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO, ECUADOR

Determination of wind meteorological behavior in the province of Chimborazo, Ecuador

¹Silvia Haro-Rivera*, ¹Lourdes Zúñiga-Lema, ²Antonio Meneses-Freire, ¹Amalia Escudero-Villa

¹Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador

²Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba, Ecuador

*s_haro@esPOCH.edu.ec

Resumen

El Centro de Energías Alternativas y Ambientes de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH tiene como principal objetivo contribuir con conocimientos al desarrollo de la investigación, ciencia y tecnología, en el ámbito de las energías alternativas y ambiente; es importante identificar regiones con similar comportamiento en la variable meteorológica velocidad de viento; en la provincia de Chimborazo-Ecuador, mediante el análisis de componentes principales. El estudio se realizó empleando la librería Factoshiny de R y los datos corresponden a los obtenidos de las estaciones meteorológicas Alao, Atillo, Cumandá, Epoch, Matus, Multitud, Quimiag, Tunshi y Urbina; durante el año 2015 en los meses de enero a noviembre. El análisis de componentes principales permitió identificar dos tipos de comportamientos en la velocidad de viento: el primero lo determina la región norte de la provincia, con zonas ubicadas a una altura superior que los 1000 ms.n.m.; y el segundo corresponde a la región del sub-trópico, misma que posee mayor diversidad, con fauna y flora totalmente diferente a la primera.

Palabras claves: Componentes principales, velocidad de viento.

Abstract

The Center for Alternative Energies and Environments of the Faculty of Sciences of ESPOCH has as main objective to contribute knowledge to the development of research, science and technology, in the field of alternative energies and environment; it is important to identify regions with similar behavior in the wind speed meteorological variable; in the province of Chimborazo-Ecuador, through the analysis of main components. The study was carried out using the Factoshiny R library and the data correspond to those obtained from the meteorological stations Alao, Atillo, Cumandá, Epoch, Matus, Multitud, Quimiag, Tunshi y Urbina; during the year 2015 in the months of January to November. The analysis of main components allowed the identification of two types of wind speed behaviors; the first is determined by the northern region of the province, with zones located at a height higher than 1000 m.a.s.l.; and the second corresponds to the subtropical region, the same one with the greatest diversity, with a totally different fauna and flora from the former.

Key words: Main components, wind speed.

Fecha de recepción: 12-03-2019

Fecha de aceptación: 17-01-2020

I. INTRODUCCIÓN

La provincia de Chimborazo está ubicada en la región centro de Ecuador, por estar situada en la cordillera de los Andes presenta grandes ele-

vaciones como el Chimborazo (6.310 m), tiene fértiles valles como los de Guano, Riobamba y Penipe. La provincia tiene importantes afluentes; entre los principales están: el Chambo, Chanchán y Chimbo. Debido a la presencia de masas de aire

amazónicas y oceánicas; y sobre todo la altura, se presentan cuatro tipos de climas; a los 4.600 ms.n.m. es de tipo glacial, entre los 3.000 y 4.000 ms.n.m. es páramo, bajando; a los 2.000 ms.n.m. el clima es mezotérmico seco; y en zonas cercanas a la costa el clima es mesotérmico húmedo y semi-húmedo. La provincia se caracteriza por ser ganadera y agrícola, por tal razón es importante analizar el comportamiento meteorológico de la velocidad de viento (1).

El Análisis de Componentes Principales (ACP) es una técnica multivariada que con frecuencia ha sido empleada en estudios meteorológicos, pues permiten identificar comportamientos en variables como: temperatura, presión, velocidad de viento; entre otras (2). Se han realizado varios estudios empleando el ACP; es así que, en el trabajo: Caracterización de las sequías meteorológicas en la región central de Argentina (3), se aplicaron componentes principales para el ordenamiento de las estaciones pluviométricas; (4), Josué Polanco, realiza un análisis por componentes principales en la evaluación de redes de control de la calidad del aire; (5), Roldán emplea el ACP para determinar zonas isotérmicas y selección de estaciones meteorológicas representativas para estimar el impacto del cambio climático sobre la posible relación entre mortalidad y temperatura en la región de Argón-España; para identificar patrones de variabilidad climática; Rueda (6) aplica ACP, Fourier y clúster k-medias; (7), Ferrelli, desarrolla una regionalización climática a partir del análisis de las temperaturas y precipitaciones diarias en el sur de la Región Pampeana-Argentina; (8), Ramírez, en su investigación aplica un análisis multivariado de componentes principales para determinar la influencia de variables meteorológicas sobre el desarrollo fenológico de la caña de azúcar en Aguada de Pasajeros-Cuba; (9), Quesada, aplica un ACP con el fin de encontrar variabilidad en los datos; y así realizar una cuantificación estructural forestal según el uso de la tierra y reservas de carbono en Turrialba-Costa Rica; (10), Pineda, realiza una aplicación del índice de homogeneidad múltiples mediante el ACP a datos climatológicos de Venezuela; (11), Sarricolea, con el objetivo de conocer patrones e intensidades de temperatura en la Isla de Calor Urbana en el área metropolitana de Santiago

de Chile emplea mapas de intensidad y un ACP; (12), Castillo, analizó la interacción entre los parámetros microclimáticos y variables geomorfológicas empleando un ACP para definir el comportamiento térmico de los espacios urbanos en Mendoza-Argentina; (13), Mejía, en su trabajo aplicó ACP para conocer el comportamiento del genotipo por ambiente de nueve variedades de algodón para los valles interandinos en Colombia, (14), Esquivel, emplea el ACP para determinar patrones húmedos y secos en la cuenca alta del río Nazas; con el fin de analizar la influencia del fenómeno climático El Niño-Oscilación del Sur; y (15), Rodríguez, realizó un análisis de deposición total en la zona protectora de los cerros de Escazú en Costa Rica utilizando un ACP para identificar las posibles fuentes de emisión.

El ACP se origina en el análisis exploratorio de datos, cuyo principal objetivo es la reducción del número de variables (dimensión), (16). Las componentes se determinan mediante combinación lineal de las variables originales mismas que deben ser linealmente independientes, (17).

Consideremos una tabla de datos X con n individuos, se busca un subespacio q -dimensional; generalmente un plano, tal que la proyección ortogonal de los n puntos sobre el sub espacio tienen varianza máxima. El objetivo es conservar la información más importante reduciendo la tabla de datos en un conjunto pequeño de nuevas variables, mismo que toma el nombre de componentes principales, (18).

En primera instancia se encuentra la primera componente C^1 , la cual es combinación lineal de las variables originales X^j , es decir:

$$C^1 = a_{11}X^1 + \dots + a_{1j}X^j + \dots + a_{1m}X^m \quad (1)$$

Donde X^j es la columna j de X , lo cual significa que el valor de C^1 para el i -ésimo individuo (mes del año) está dado por:

$$C_i^1 = a_{11}x_{i1} + \dots + a_{1j}x_{ij} + \dots + a_{1m}x_{im} \quad (2)$$

La primera componente C^1 , no engloba la información contenida en X ; por lo que se construye una segunda componente principal C^2 , luego una tercera C^3 ; y así sucesivamente.

Las componentes principales se determinan a partir de la matriz de varianzas-covarianzas,

misma que se define por:

$$V = \frac{1}{n} X^t X \quad (3)$$

Ya que las variables están centradas y reducidas entonces $V=R$, por lo que la matriz de correlación será:

$$v_{ij} = cov(X^i, X^j) = \frac{cov(X^i, X^j)}{\sigma_{X^i} \sigma_{X^j}} = R(X^i, X^j) \quad (4)$$

Es decir, $R \in M_{m \times m}$ donde $R = (1/n) X^t X$. Los vectores y valores propios se calculan cuando se ha definido la matriz R , (19). Si denotamos por $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m$ estos valores propios ordenados de mayor a menor; y por v_1, v_2, \dots, v_m los respectivos vectores propios, entonces se construye la matriz $V \in M_{m \times m}$ como:

$$V = [v_1 | v_2 | \dots | v_m] \quad (5)$$

Donde, la matriz V tiene como columnas los vectores v_1, v_2, \dots, v_m . El cálculo de la matriz de componentes principales $C \in M_{m \times m}$ se realiza como:

$$C = X \cdot V \quad (6)$$

	ALAO	ATILLO	CUMANDA	ESPOCH	MATUS	MULTITUD	QUIMIAG	TUNSHI	URBINA
ENERO	2.029435484	3.319483871	0.827237903	2.16941129	1.40418548	0.34800941	1.9467715	1.499212	4.6830874
FEBRERO	2.071537202	3.23660119	0.850354167	2.18204613	1.43084821	0.35285566	2.0434851	1.597027	4.1786726
MARZO	1.722	2.902947581	0.770401882	1.71843817	1.29898118	0.36596237	1.7458696	1.274352	3.5922258
ABRIL	1.836234722	3.346890278	0.693401389	1.94366528	1.41355833	0.40219028	1.7692	1.319069	4.4060625
MAYO	1.825125	3.254575269	0.615083333	1.98341936	1.42399059	0.39402957	1.7952473	1.325632	4.6763266
JUNIO	2.158127778	5.614034722	0.538706944	2.17751528	1.62121528	0.39112361	1.9528	1.416032	4.9129
JULIO	1.942680108	4.41594086	0.454747312	2.3742246	1.59189247	0.3867043	1.9673293	1.488075	4.9024718
AGOSTO	2.114397849	4.650002688	0.380635753	2.2889328	1.65259946	0.41906989	2.0440349	1.672668	4.9058347
SEPTIEMBRE	2.256415278	4.079818056	0.441008333	2.50662639	1.77685972	0.43210278	2.1037431	1.698358	5.1122639
OCTUBRE	2.07194086	3.073923387	0.443926075	2.17071371	1.55240054	0.35994624	2.0543293	1.446145	4.5417769
NOVIEMBRE	1.983727778	2.8065625	0.560476389	1.7202375	1.35094861	0.38586861	1.7730208	1.287001	3.47615
PROMEDIO	2.001056551	3.700070946	0.597816316	2.11229368	1.50158908	0.38526025	1.9268937	1.456688	4.4897975

Tabla 1. Base de datos, variable vv

El análisis de componentes principales se realizó mediante la librería Factoshiny de R, y para ello se procedió a cargar el fichero y a seleccionar ACP.

Para comprobar que las correlaciones entre las variables son distintas de cero de modo significativo, se aplicó el test de Barlett; el cual verifica si el determinante de la matriz R es distinto de uno; para lo cual se contrasta:

$$\begin{cases} H_0: |R| = 1 \\ H_0: |R| \neq 1 \end{cases} \quad (7)$$

A valores altos, el test rechaza la hipótesis nula, lo

El ACP es una primera técnica que se emplea para determinar variables ocultas que puede generar inconsistencia en el conjunto de datos (20).

II. MATERIALES Y METODOS

En la provincia de Chimborazo se han instalado estaciones meteorológicas con varios sensores que miden variables como: velocidad de viento (vv), radiación solar global, temperatura, precipitación, entre otras. Los datos empleados en el trabajo corresponden a los promedios por mes del año 2015 de la variable velocidad de viento (km/h), información obtenida de las estaciones meteorológicas: Alao, Atillo, Cumandá, Espoch, Matus, Multitud, Quimiag, Tunshi y Urbina; ubicadas en la provincia de Chimborazo. El equipo utilizado para la medición de la vv es un ultrasonico anemometer 85000, mismo que se encuentra ubicado a 9m del suelo; la información se registra en un dataloger y de forma automática migran a un servidor. Los datos se muestran en la tabla 1:

que determina que el ACP no es adecuado; pues la matriz de correlaciones no es la matriz identidad, (21).

Para determinar si las correlaciones entre las variables son suficientemente pequeñas, se empleó la medida de la adecuación muestral de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO), (22). Este estadístico varía entre 0 y 1, y considera que si $1 \leq KMO \leq 0.9$ el modelo es muy bueno y conforme éste decrece el modelo es considerado como inaceptable.

El número de componentes se determinó mediante el gráfico de sedimentación, mismo que

muestra la cantidad de varianza explicada. El criterio empleado fue calcular el promedio de los autovalores y considerar la matriz de correlaciones; el cual debe ser 1 (KMO); (23).

Dos gráficos utilizados en el ACP, son el plano principal y el círculo de correlación. El primero permitió identificar las similitudes entre los individuos (meses del año), conocidos como clústeres. El gráfico depende del número de componentes con los que se desea trabajar; la figura 1, muestra un caso particular para dos componentes C^1 y C^2 .

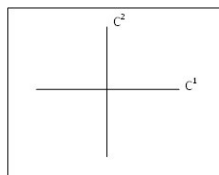


Figura 1. Plano principal

El círculo de correlaciones, figura 2; muestra la correlación entre las variables (estaciones meteorológicas), para lo cual se analiza el ángulo que se forma entre éstas.

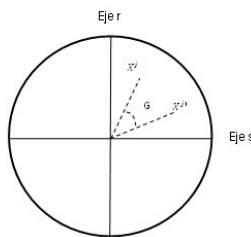


Figura 2. Círculo de Correlación

Si X^i y X^j están cercanas entre sí, entonces se presenta una correlación fuerte y positiva, si el ángulo es cercano a 90° no existe correlación entre las variables; y existe una correlación fuerte y negativa si X^i y X^j están opuestas al vértice (origen).

La interpretación de las componentes se efectúa mediante la sobre posición de plano principal y el círculo de correlación, lo cual permite interpretar a que grupo pertenecen los individuos, (24).

Una manera de determinar las calidades de los individuos y las variables; es calculando los cosenos cuadrados, (25). Si $Q \in M_{n \times m}$, los cosenos están dados por la ecuación:

$$Q_{ir} = \frac{(c_{i,r})^2}{\sum_{j=1}^m (x_{ij})^2} \text{ para } i = 1, 2, \dots, n; \quad r = 1, 2, \dots, m \quad (8)$$

Sean a y b dos individuos, con \hat{a} y \hat{b} las proyecciones sobre un plano principal, figura 3; se puede

observar que representa mejor a a que lo que \hat{b} lo hace con respecto a b ; pues se observa un vector más grande, por lo que podemos decir que a y b están mejor representados si α y β son pequeños. Sabemos que si un ángulo tiende a cero entonces su coseno tiende a 1, por lo que podemos calcular:

$$\cos(a) = \frac{\|\hat{a}\|}{\|a\|} \quad (9)$$

Para evitar valores negativos se considera:

$$\cos^2(a) = \frac{\|\hat{a}\|^2}{\|a\|^2} \quad (10)$$

Por lo que; si el $\cos^2(a)$ es cercano a 1 la representación del individuo será muy buena y mientras más pequeño sea este valor la representación es mala (cercano a 0).

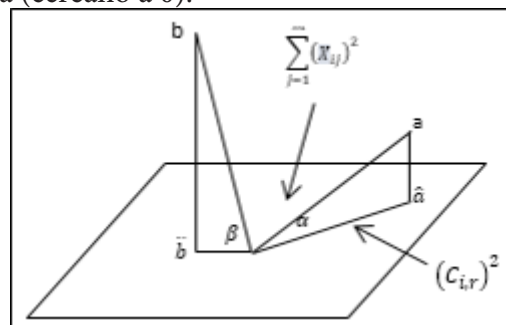


Figura 3. Proyección de individuos en plano principal

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La prueba de Barlett figura 4, muestra que con un nivel de significación del 0.05 rechazamos la hipótesis nula de esfericidad, esto ya que el p-valor < 0.05 por lo que el análisis de componentes principales se puede aplicar.

Bartlett test of homogeneity of variances

data: datos
Bartlett's K-squared = 134.16, df = 8, p-value < 2.2e-16

Figura 4. Test de Barlett, variable vv

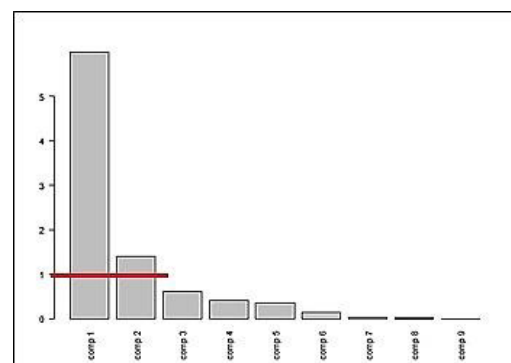


Figura 5. Gráfico de sedimentación, variable vv

El gráfico de sedimentación, figura 5 permitió identificar dos componentes principales, pues

con éstas se alcanza un 82.291% de información en las variables; tal como muestra la tabla 2.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
Varianza	5.997	1.409	0.615	0.418	0.351	0.143	0.043	0.021	0.003
% de varianza	66.635	15.656	6.834	4.644	3.898	1.586	0.478	0.237	0.033
Varianza acumulada %	66.635	82.291	89.125	93.769	97.666	99.252	99.730	99.967	100

Tabla 2. Varianza Explicada, variable vv

Los gráficos obtenidos para esta variable se muestran en la figura:

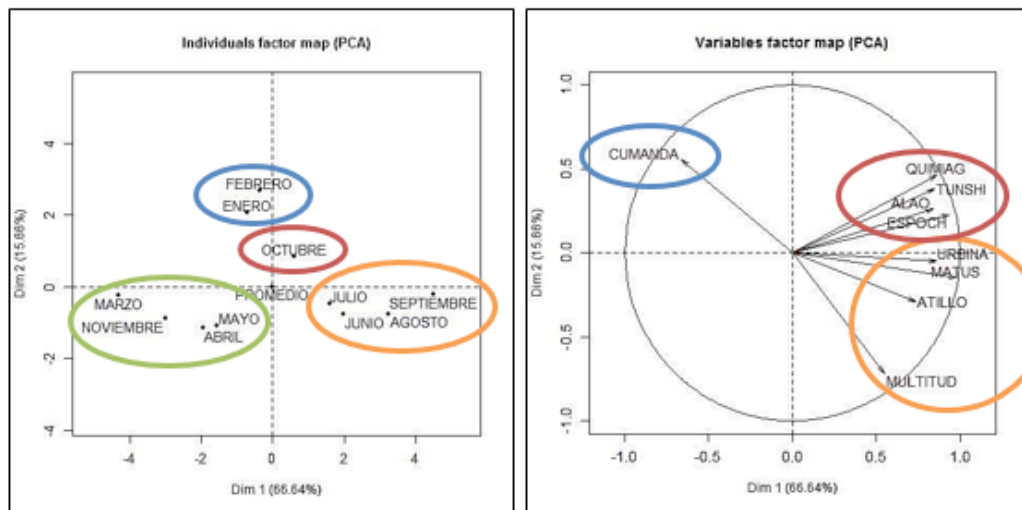


Figura 6. Variable velocidad de viento: (a) Plano principal (b) Circulo de correlaciones

El plano principal, figura 6 (a); muestra que la velocidad de viento es similar en cuatro grupos, mismos que están conformados por: grupo 1 (azul); enero y febrero, grupo 2 (verde); marzo, abril, mayo y noviembre, el grupo 3 (naranja) por junio, julio, agosto y septiembre y en el cuarto octubre (rojo).

El círculo de correlación, figura 6 (b), muestra que existe una correlación alta y positiva entre Quimiag y Tunshi; así como entre Alao y Espoch. No existe correlación entre Quimiag y Multitud; además, existe un correlación fuerte y negativa entre Cumandá y Multitud. Se puede observar que el eje uno (horizontal) contrapone las estaciones que se encuentran a una altura superior a los 1000 m.s.n.m. con aquella que presenta un valor inferior a este, tabla 4.

De acuerdo a la sobre posición del círculo y el plano principal podemos decir que la velocidad de viento en los meses de junio, julio, agosto y septiembre es predominante en las regiones donde se encuentran ubicadas las estaciones de Urbina, Matus, Atillo y Multitud; pero existe una rela-

ción negativa en los meses de marzo, abril, mayo y noviembre; sobre todo en marzo, pues es el más alejado; esto se debe a que durante esos meses la vv no superó los 2km/h, figura 7.

La vv en la estación Cumandá es representativa en los meses de enero y febrero; cabe indicar que esta estación es la única que se encuentra ubicada a una altura inferior a los 500 ms.n.m., tabla 4. En octubre la vv fue predominante en las estaciones de Quimiag, Tunshi, Alao y Espoch; las cuales se encuentran ubiadas a una altura comprendida entre los 2000 y 3100 ms.n.m., tabla 3.

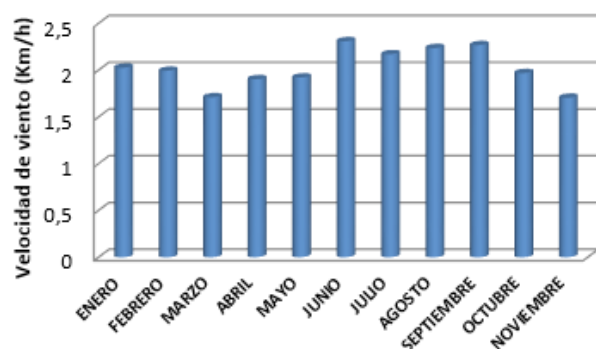


Figura 7. Valores medios mensuales de velocidad de viento

No.	Estación	Altura (ms.n.m.)
1	Quimiag	2709
2	Urbina	3642
3	Multitud	1483
4	Cumandá	331
5	Espoch	2754
6	Tunshi	2840
7	Alao	3064
8	Atillo	3467
9	Matus	2720

Tabla 3. Altura estaciones meteorológicas

Los cosenos cuadrados mostraron que la variable con baja representación en la componente 1 (C1) es Multitud y la que mejor representa es Matus con valores de 0,30 y 0,96 respectivamente, tabla 4. Para la componente 2 (C2), Multitud es la variable mejor representada con un coseno cuadrado igual a 0,51; mientras que Urbina y Atillo tienen una representación baja, tabla 5.

Estación	Coseno cuadrado	
	C1	C2
Alao	0.70	0.07
Atillo	0.54	0.08
Cumandá	0.44	0.31
Espoch	0.87	0.05
Matus	0.96	0.02
Multitud	0.30	0.51
Quimiag	0.74	0.21
Tunshi	0.72	0.15
Urbina	0.74	0.00

Tabla 4. Coseno cuadrados de variables, vv

Mes	Coseno cuadrado	
	C1	C2
Enero	0.09	0.75
Febrero	0.02	0.92
Marzo	0.97	0.00

Abril	0.62	0.22
Mayo	0.51	0.24
Junio	0.45	0.07
Julio	0.57	0.05
Agosto	0.88	0.05
Septiembre	0.91	0.00
Octubre	0.09	0.16
Noviembre	0.70	0.06

Tabla 5. Cosenos cuadrados de los individuos, vv

IV. CONCLUSIONES

El análisis de componentes principales pudo identificar características comunes de velocidad de viento en la provincia de Chimborazo. Este estudio mostró dos tipos de comportamientos; el primero lo determina la región norte de la provincia, con zonas ubicadas a una altura superior que los 1.000 ms.n.m.; y el segundo corresponde a la región del sub trópico; misma que posee mayor diversidad con fauna y flora totalmente diferente a la anterior. Cabe destacar que la región donde se encuentra ubicada la provincia, recibe influencia alternada de masas de aire oceánicas y amazónicas, haciendo que el aire húmedo y cálido se eleve y enfríe produciendo altas precipitaciones y ecosistemas húmedos. Los resultados del estudio pueden ser de utilidad para identificar zonas con velocidades de viento que pueden incidir en el ecosistema de la provincia de Chimborazo, además es un preámbulo a estudios relacionados con energía eólica.

V. AGRADECIMIENTO

Al Centro de Investigaciones de Energía Alternativa y Ambiente de la ESPOCH, Facultad de Ciencias.

R eferencias

1. Toaing S. <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/12012>. [Online].; 2015. Acceso 15 de 10 de 2019. Disponible en: <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/12012>.
2. Richman M. Obliquely totated principal components: an improved meterological map typing technique. Journal. 1981;; p. 1145-1159.
3. Vicario L., García C, Teich I, Bertoni J, Ravelo A, Rodríguez A. Caracterización de las sequías meteorológicas en la región central de la Argentina. Tecnología y Ciencias del Agua. 2015; VI(1).
4. Polanco J. El papel del análisis por componentes principales en la evaluación de redes de control de la calidad del aire. Comunicaciones en Estadística. 2016; 9(2).
5. Roldán E, Gómez M, Pino M, Pradas M, Jiménez J. Determinación de zonas isotérmicas y selección de estaciones meteorológicas representativas en Aragón como base para la estimación

del impacto del cambio climático sobre la posible relación entre mortalidad y temperatura. *Salud Pública*. 2011;(6).

6. Rueda J, Elles C, Sánchez E, González Á, Rivillas G. Identificación de patrones de variabilidad climática a partir de análisis de componentes principales, Fourier y clúster k-medias. *Udistrital*. 2016; 20(50).
7. Ferrelli F, Brendel A, Aliaga V, Piccolo M, Perillo G. Climate regionalization and trends based on daily temperature and precipitation extremes in the south of the Pampas (Argentina). *Geographical Research Letters*. 2019; 1(45): :p. 393-416.
8. Ramírez M, Rodríguez D, Ramírez F, Barcia S. Variables meteorológicas y desarrollo fenológico de la caña de azúcar en Aguada de Pasajeros. *Cubana de Meteorología*. 2019; 25(sp) : p. 354-366.
9. Quesada A, Nakajima S, Rojas P, Rojas C. Cuantificación estructural forestal según uso de la tierra y reservas de carbono de FEIMA, Turrialba, Costa Rica. *Ingeniería*. 2019; 30(1): p. 59-74.
10. Pineda N, Jaimes E, Mendoza J. Aplicación del índice de homogeneidad múltiple a datos climatológicos de Venezuela. *Interciencia*. 2006; 31(11) : p. 817-821.
11. Sarricolea P, Martín J. El estudio de la Isla de Calor Urbana de superficie del área metropolitana de Santiago de Chile con imágenes Terra-MODIS y análisis de componentes principales. *Geografía Norte Grande*. 2014; 57: p. 123-141.
12. Castillo A, Correa E, Cantón M. Geomorfología y forma urbana. Comportamiento térmico de distintas tramas en áreas piedemonte: el caso de Mendoza, Argentina. *EURE*. 2019; 45(136) : p. 183-207.
13. Mejía J, Galeano C, Burbano E, Vallejo F, Arango M. Interacción genotipo por ambiente de nueve variedades de algodón para los Valles interandinos en Colombia. *Agronomía Mesoamericana*. 2019; 31(1) : p. 31-42.
14. Esquivel G, Cerano J, Sánchez I, Velásquez M, Flores F, Bueno P. Análisis temporal de sequías (1922-2016) en la cuenca alta del río Nazas usando el SPI y su relación con ENSO. *Tecnología y Ciencias del Agua*. 2019; 10(3) : p. 126-153.
15. Rodríguez J, Chaves M. Análisis en deposición total en la zona protectora de los cerros de Escazú en Costa Rica. *Innovación académica*. 2019; 3(1) : p. 28-37.
16. Alcón O, Lloret E. Estudio de la influencia de incorporar conocimiento léxico-semántico a la técnica de Análisis de Componentes Principales para la generación de resúmenes multilingües. *LinguaMÁTICA*. 2015;; p. 53-63.
17. Satrustegui K, Guitiérrez J, Goitisoló B. Evidencias e interrogantes sobre desarrollo, financiación externa y AOD: un Análisis de Componentes Principales. *Economía Mundial*. 2014;; p. 153-178.
18. Jolliffe IT. *Principal Component Analysis* New York: Springer; 2002.
19. Chávez C, Sánchez-García J, Cerda-Gastélum D. Análisis de componentes principales funcionales en series de tiempo económicas. *GECONTEC*. 2015;; p. 12-25.
20. Peña D. *Análisis de datos multivariantes*: McGraw-Hill; 2002.
21. Manosalvas C, Manosalvas L, Nieves J. El clima organizacional y la satisfacción laboral: un análisis cuantitativo riguroso de su relación. *AD-MINISTER*. 2015;; p. 5-15.
22. Urrutia JA, Reiner PL. Componentes principales en la determinación de estaciones con patrones homogéneos de temperatura en el Chocó. *Scientia et Technica*. 2010;; p. 257-262.
23. Ledesma R, Molina J, Young F, Valero-Mora P. Desarrollo de técnicas de visualización múltiple en el programa ViSta: ejemplo de aplicación al análisis de componentes principales. *Psicothema*. 2007;; p. 497-505.
24. Restrepo A, Loaiza H, Caicedo E. Procedimiento automático de reducción de variables basado en ACP para el reconocimiento de formas con ultrasonido. *con-ciencias*. 2006;; p. 19-30.
25. Guevara J. Cuantificación del perfil del viento hasta 100m de altura desde la superficie y su incidencia en la climatología eólica. *Terra Nueva Etapa*. 2013;; p. 46-81.