

Aplicación del método STATIS-ACT al régimen de lluvias en la Región Oriental Venezolana

Barlin Orlando Olivares¹, M. L. Zingaretti², J.A. Demey Zambrano³ & J. R. Demey^{†4}

1. Investigador. Programa Iberoamericano de Doctores en Agroalimentación de la Universidad de Córdoba (UCO), España; barlinolivares@gmail.com
2. Docente- investigador. IAPCBA-IAPCH, Universidad Nacional de Villa María, Córdoba, Argentina.
3. Investigador. Doctorando del Departamento de Estadística, Universidad de Salamanca, España.
4. Investigador Prometeo SENESCYT, Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), Ecuador. †07/2016.

Recibido 20-IX-2016 • Corregido 16-X-2016 • Aceptado 13-XI-2016

ABSTRACT: The STATIS-ACT method applied to rainfall in the Venezuelan Eastern Region. Rainfall analysis is one of the most important tools to understand the spatial natural phenomena behavior. Our goal was to describe the rainfall patterns using fourteen variables derived from descriptive statistics of sixty-five climatic stations in the eastern of Venezuela using the STATIS-ACT method. The analysis generated four coherent groups of precipitation consisting of meteorological stations with a specific pattern of precipitation. Groups 1 and 3 have presented greater interannual variability. On the other hand, increased rainfall stations are represented by Groups 2 and 4. In addition, the latter group has had greater stability in rainfall variability between years due to the lower levels of the coefficient of variation. The study showed precipitation patterns associated with units landscapes of eastern characteristics that could be used in agricultural planning long term.

Key words: agricultural, climatic variability, rainfall, geography, statistics.

RESUMEN: El análisis de la precipitación es de suma importancia para poder comprender el comportamiento de fenómenos naturales que varían espacialmente, representando una herramienta útil para tomar decisiones en el ámbito agrícola. El objetivo del estudio fue caracterizar el régimen de lluvia usando catorce variables originales de la precipitación mensual de sesenta y cinco estaciones climáticas ubicadas en la región oriental de Venezuela, aplicando la metodología STATIS-ACT. El análisis generó cuatro grupos coherentes de precipitación constituidos por estaciones meteorológicas, con un patrón de precipitación específico. Los grupos 1 y 3 han presentado mayor variabilidad interanual. Por otro lado, las estaciones de mayores lluvias están representadas por los Grupo 2 y 4. Además, este último grupo, ha tenido una mayor estabilidad en la variabilidad pluviométrica entre años debido a los menores niveles del coeficiente de variación. El estudio evidencia patrones de precipitación asociadas a las unidades de paisajes características de la región oriental que pudiera ser utilizado en la planificación agrícola a largo plazo.

Palabras clave: agricultura, variabilidad climática, lluvia, geografía, estadística.

La información oportuna y precisa sobre el tiempo, el clima y el agua es fundamental para la subsistencia del sector agrícola, que se enfrenta a crecientes riesgos climáticos. En general, las observaciones, predicciones, análisis e investigaciones realizadas por los servicios de agrometeorología les permiten a las comunidades agrícolas aumentar la producción, mejorar el rendimiento de cultivos, planificar las temporadas de cosecha, y reducir la aparición de las plagas y enfermedades (OMM, 2009).

En consecuencia, la ejecución de una política eficiente en la gestión de recursos hídricos para la agricultura, debe considerar a la variabilidad climática como protagonista que condiciona estrictamente el sistema climático.

Partiendo de esta premisa, la disponibilidad del recurso hídrico y los rendimientos agrícolas, están en función de esa variabilidad natural (Makarau, 1992; Martelo, 2003a).

Aunque existen investigaciones profundas sobre el régimen de lluvias en la región intertropical, existen todavía problemas de escala: por la misma esencia del tema, la escala espacial de los trabajos suele ser a nivel de grandes áreas; no obstante, para que este conocimiento sea práctico y útil, es preciso afinar la escala al nivel meso climático obteniendo una descripción certera de los procesos del sistema climático.

En Venezuela, se reconocen los elementos de dinámica atmosférica, referidos a la variación estacional, que

explican el comportamiento promedio del ciclo anual de la lluvia, sin embargo no son bien conocidas las causas de esta variación ni la distribución espacio-temporal de la lluvia en algunas zonas.

Particularmente, en los Llanos, la situación climática para la agricultura varía de una época a otra. Existe una época seca en los cuales se presenta un déficit hídrico, constituido como una disminución temporal en la disponibilidad de agua o humedad, que repercute significativamente en los cultivos (Caraballo, Pérez & Marciano, 2005; Lobo et al., 2010; Cortez et al., 2011; Olivares et al., 2012; 2013a). Por otra parte, en la época lluviosa, se generan las condiciones óptimas para el adecuado crecimiento y desarrollo de los cultivos, así como la oportunidad de realizar las labores agrícolas en campo.

Pese a que la tecnología agrícola implementada en diferentes unidades de producción en los llanos venezolanos, ha logrado avances en la productividad agrícola, el clima sigue siendo un elemento sobre el cual no ha logrado actuar. Es por esto que las condiciones climáticas y la ocurrencia del fenómeno de El Niño Oscilación

Sur (ENOS), la sequía y el cambio climático son motivo de preocupación para agricultores, entes gubernamentales y planificadores agrícola-ambientales (MARN, 2005).

En virtud a esta situación, resulta importante realizar un estudio exploratorio cuyo objetivo es caracterizar el régimen de lluvias de sesenta y cinco estaciones climáticas ubicadas en la Región Oriental de Venezuela, usando el análisis multivariado con series continuas de tiempo. El modo general de trabajo consiste en seleccionar las principales características de la lluvia y estudiar su relación con la ubicación geográfica, donde precisamente estas relaciones sientan las bases para definir los grupos homogéneos de lluvia en la región.

Con este tipo de investigación se pretende obtener un conocimiento detallado del comportamiento de la lluvia, en términos de variabilidad espacio-temporal, lo cual permitirá mejorar la planificación estratégica de las actividades agrícolas o ambientales, en términos de la sostenibilidad agrícola y, al mismo tiempo, la seguridad alimentaria de la nación.

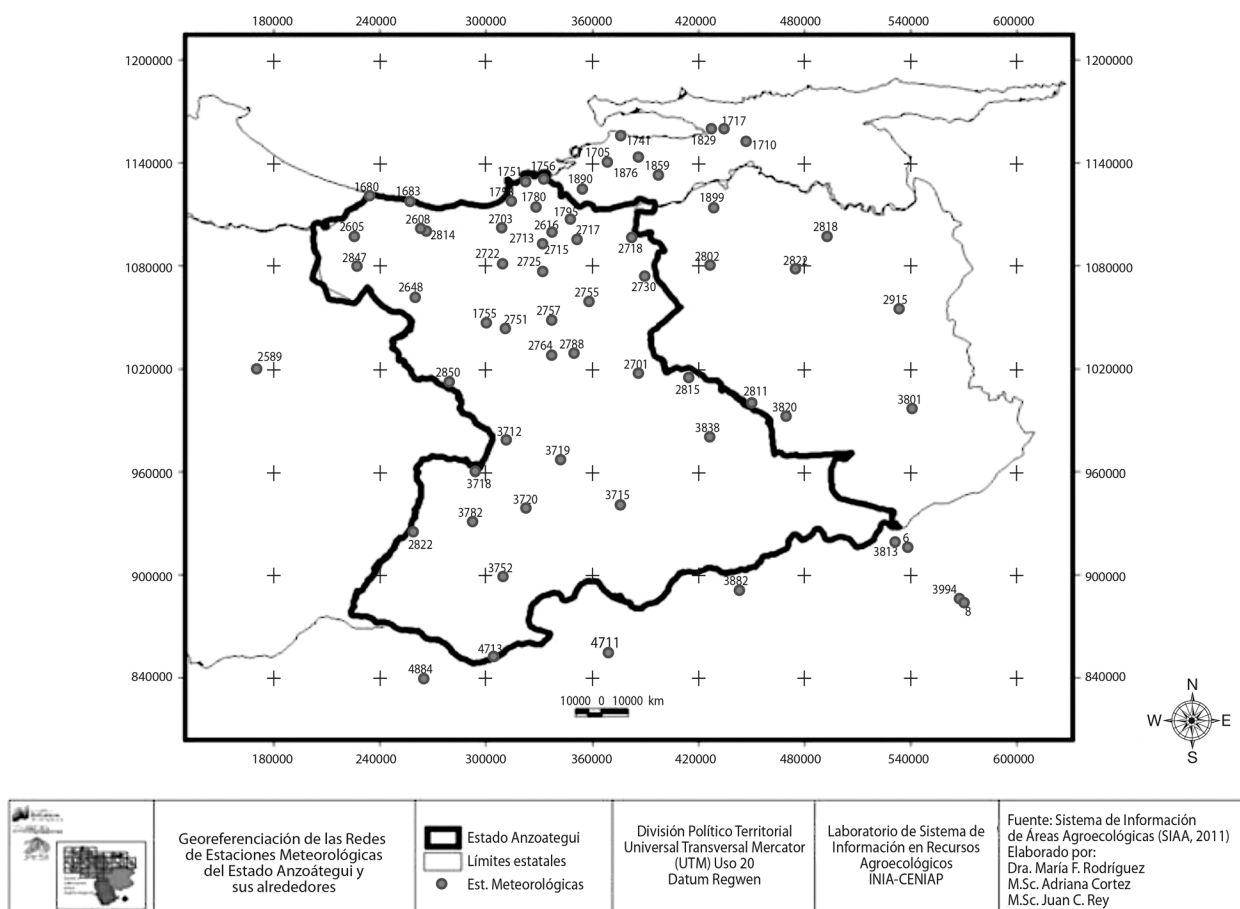


Fig. 1. Ubicación geográfica de las estaciones climáticas seleccionadas en la Región Oriental de Venezuela.

MÉTODOS

Para el desarrollo de este trabajo se dispuso de la información de precipitación mensual para el periodo 1970-2000 de 65 estaciones meteorológicas de las instituciones que manejan este tipo de información en el país, ubicadas en la Región Oriental de Venezuela, que comprende a los estados Anzoátegui, Bolívar, Guárico, Monagas y Sucre (Fig. 1).

Se realizó un control de calidad a los datos de precipitación mensual para definir la proporción de datos faltantes, identificar valores fuera de lo normal y observar el entendimiento básico de la distribución de las series (Parra y Cortez, 2005; Ablan, Andressen, Vargas & Acevedo et al., 2008 y Olivares et al., 2013b); utilizando los programas JMP v.6 (Jones & Sall, 2011), InfoStat v.11 (Di Rienzo et al., 2011) y Vesper v.1.6 (Minasny et al., 2002).

Para el análisis de los datos de precipitación, se utilizó el método STATIS- ACT (des Plantes, 1976; Pages, Escoufier & Cazes, 1976; Lavit, Escoufier, Sabatier & Traissac, 1994) y adicionalmente, se realizó un Biplot (Gabriel; 1971) sobre la estructura compromiso, usando el paquete **ki-mod** (Zingaretti et al., 2015) del software **R** (R Core Team, 2015). Este método STATIS-ACT se utiliza para realizar el análisis de un conjunto de k -tablas de datos cuantitativos que contienen las mismas observaciones, es un acrónimo del francés que aproximadamente puede traducirse como "Estructuración de tablas estadísticas de tres vías".

Estos métodos son generalizaciones del análisis de componentes principales o el análisis de correlación canónica para el análisis de datos multi-vía y permiten analizar estructuras de datos en las que un mismo conjunto de individuos y variables fueron medidos bajo distintos escenarios experimentales o a lo largo del tiempo (Vivien & Sabatier, 2004; Abdi, Valentin, Chollet & Chrea, 2007; Abdi, Williams, Valentin & Bennani-Dosse, 2012).

El objetivo del método es analizar la estructura de cada conjunto de datos individual para derivar pesos óptimos que permiten computar la mejor representación común de todas las tablas en un espacio euclideo. Se implementa en tres fases denominadas: Interestructura, Compromiso e Intraestructura (des Plantes, 1976; Pages et al., 1976; Lavit et al., 1994).

Interestructura: El primer paso del análisis consiste en la evaluación de la similaridad entre todas las tablas a partir de la construcción de configuraciones de matrices. Sea $X_{[kj]}$, la k -ésima matriz individual, $M_{[kj]}$, una matriz diagonal que contiene los pesos de las variables para la k -ésima tabla y D una matriz diagonal con los pesos de las observaciones a lo largo de todas las tablas. El análisis

consiste en el estudio del triplete $(X_{[kj]}, M_{[kj]}, D)$. En el STATIS, los elementos comunes a lo largo de todas las tablas son los individuos, por lo que, en primer lugar, se construyen k matrices $W_{[kj]} = X_{[kj]} M_{[kj]} X'_{[kj]}$.

La estructura de similaridad entre las matrices W se establece a partir de la definición del siguiente producto interno, que induce una norma:

$$\langle W_k | W_{k'} \rangle_{HS} = \text{tr}\{W_k D W_{k'} D\} \quad (1)$$

Este se denomina producto de Hilbert-Smith (HS). Geométricamente indica la estructura de co-varianción de las variables. Cuando estas matrices están normalizadas y se elimina el efecto de las magnitudes, define exactamente el coseno del ángulo entre matrices y se denomina coeficiente de correlación vectorial RV (Escoufier, 1973):

$$\rho_{k,k'} = \frac{\langle W_k | W_{k'} \rangle_{HS}}{\langle W_k | W_k \rangle_{HS} \langle W_{k'} | W_{k'} \rangle_{HS}} \quad (2)$$

Si el coeficiente es cercano a 1, las estructuras son congruentes. Es decir, no existen diferencias entre las estructuras factoriales de las dos condiciones k y k' . En términos del método, esto significa que los individuos se comportan de manera similar en ambas condiciones. Adicionalmente, la diagonalización de la matriz de productos escalares provee el análisis de componentes principales de la estructura de similaridad entre las tablas que se representan como puntos bi o tri-dimensionales tomando las 2 o 3 primeras columnas de la siguiente matriz: $W_k D$.

Compromiso: El objetivo de esta etapa es evaluar el comportamiento de los individuos de manera global (es decir, considerando cada uno de los k estudios). Para ello, se construye una matriz representante de las k configuraciones iniciales, denominada compromiso o consenso W que se define a partir de la siguiente suma ponderada (Lavit et al., 1994):

$$W = \sum_{k=1}^K \alpha_k W_k \quad (3)$$

Siendo:

$$\alpha_k = \frac{1}{\sqrt{\lambda_1^{(e)}}} \left(\sum_{k=1}^K \sqrt{S_{kk}} \right) U_{1k}^{(s)} \quad (4)$$

Dónde: es el primer valor propio de la matriz; es la k -ésima componente del primer vector propio de la matriz S

de correlaciones vectoriales, calculada a partir del producto de H-S.

Conviene indicar que esta fase de compromiso es la configuración más correlacionada (en el sentido del producto de H-S) con cada una de las configuraciones.

Intraestructura: A partir de la configuración compromiso, es posible representar los (**I**) individuos en un espacio de dimensión dos o tres, utilizando la eigen-descomposición de la matriz:

$$WD = \tilde{U} \tilde{\Delta} \tilde{U}' \quad (5)$$

A partir del compromiso es posible representar las posiciones "medias" de los individuos, realizando la descomposición espectral de la matriz **WD** (5). Así, en términos de la ecuación (5), la configuración consenso de los individuos (**F**) es $WD\tilde{U}\tilde{\Delta}^{-1/2} = \tilde{U}\tilde{\Delta}^{1/2}$.

A partir de la cual, es posible construir matrices de proyección de los individuos de cada tabla sobre el compromiso:

$$F_k = W_k D \tilde{U} \tilde{\Delta}^{-1/2} \quad (6)$$

Obteniendo una representación de las posiciones consenso de los individuos (en dos o tres dimensiones).

Del análisis de los datos se obtuvieron 12 tablas, cada una de tamaño 65x14, correspondientes a las 65 estaciones climáticas de los cinco estados de la Región Oriental de Venezuela y 14 variables representadas por: la altura, latitud, longitud, media, desviación estándar, coeficiente de variación, mediana, percentiles 25 y 75%, mínimos, máximos, desviación absoluta de la mediana, asimetría y curtosis.

Cada tabla posee la información de las estadísticas descriptivas del periodo 1970-2000. Adicionalmente, están geo-referenciadas por la latitud, longitud y altura. La Figura 2 muestra la estructura de los datos. De esta manera, es posible obtener una estructura media de cada

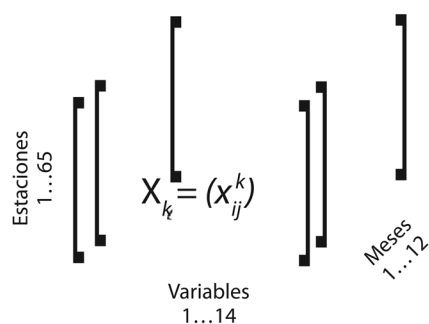


Fig. 2. Estructura de datos. Los datos presentan una estructura de cubo con 12 tablas, en cada una de las cuáles se presentan 65 estaciones y 14 variables.

observación a lo largo de los meses, clasificar las estaciones y determinar cuáles son las relaciones entre las estaciones y las distintas variables.

RESULTADOS

La proyección en el espacio euclideo de la estructura de correlación vectorial de las tablas es óptima y los dos primeros componentes explican más del 60% de la variabilidad total; además muestra dos grupos de meses: de noviembre a marzo y de abril a octubre, lo que se corresponde con estación seca y lluviosa respectivamente (Fig. 3). Adicionalmente, el periodo de mayor peso en la conformación de la estructura compromiso está representado por los meses de diciembre a marzo.

Una vez obtenida la matriz compromiso, se realizó una proyección de los datos en un espacio de dimensión 2. Los dos primeros componentes explican aproximadamente el 50% de la variabilidad total. Por otra parte, para facilitar la interpretación de los resultados, se realizó un agrupamiento jerárquico de los datos de esta matriz usando la distancia euclidea y el método de Ward (Kaufman & Rousseeuw, 2009).

De acuerdo al coeficiente de silueta el número óptimo de grupos es cuatro (Rousseeuw, 1987), cada uno de los cuáles se representan en la Figura 4. Al respecto, el Cuadro 1 resume los cuatro grupos de estaciones, observándose que la relación entre las variables estadísticas estudiadas en conjunto con la georeferenciación fue la que definió y produjo la caracterización general de los grupos.

La Figura 5 muestra la representación Biplot de la estructura compromiso y las variables, lo que permite establecer relaciones entre estaciones y variables. De acuerdo a los análisis conjuntos de las Figuras 4 y 5, los máximos registros de precipitaciones ocurren en las estaciones del Grupo 2 (G2), especialmente en una de las zonas costeras como "Bajo Negro" y en las tres estaciones continentales restantes: "La Aurora, La Hornallita y Musinacio".

El mapa muestra la espacialización de los grupos de estaciones definidos en el estudio (Fig. 6). Las estaciones climáticas cuyos valores más bajos se ubican en la zona noreste del estado Anzoátegui y parte de Sucre; se incrementan hacia el sur de la región.

DISCUSIÓN

El Grupo 1 (G1) abarca la mayoría de la región, es el grupo de "tendencia promedio" en todas las variables y que registra los sitios de máxima altitud (alrededor de

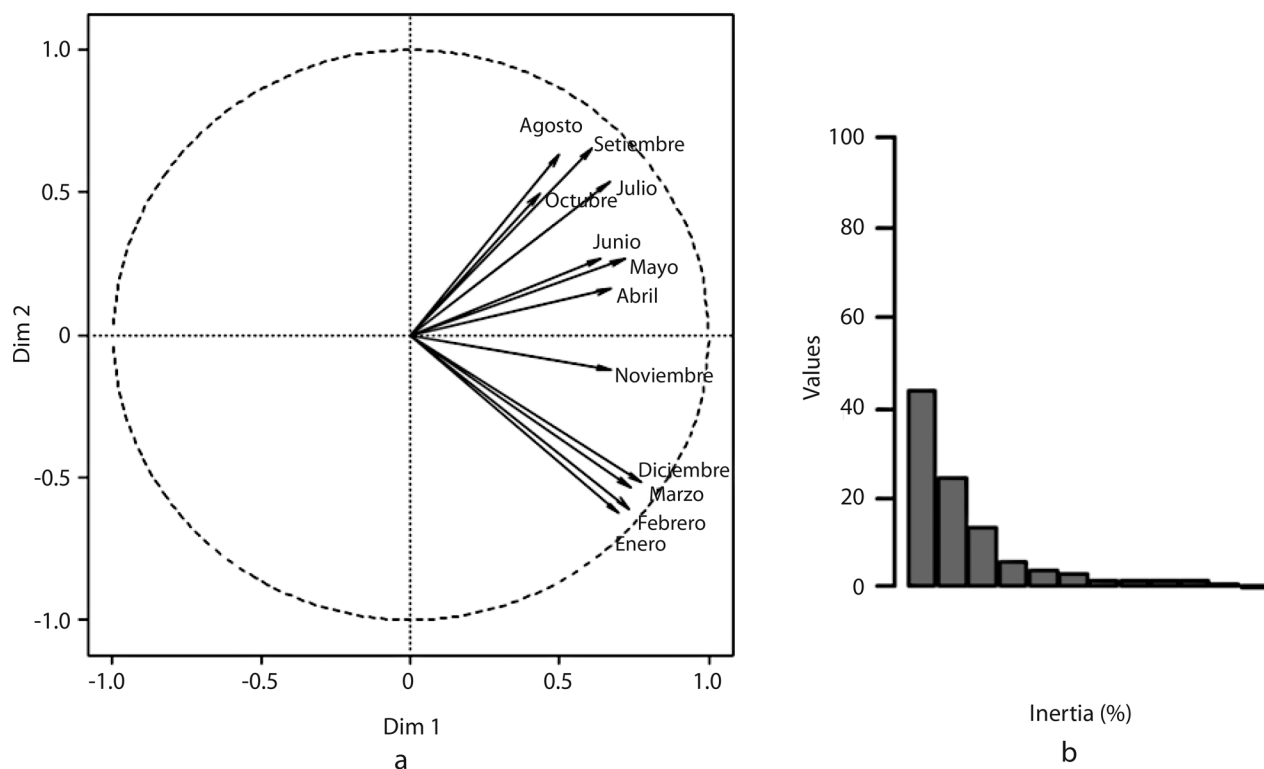


Fig. 3. (a) Proyección en el espacio euclideo de la estructura de correlación vectorial de las tablas. **(b)** Porcentaje de inercia explicado por cada una de las dimensiones. Las dos primeras dimensiones explican más del 60% de inercia total.

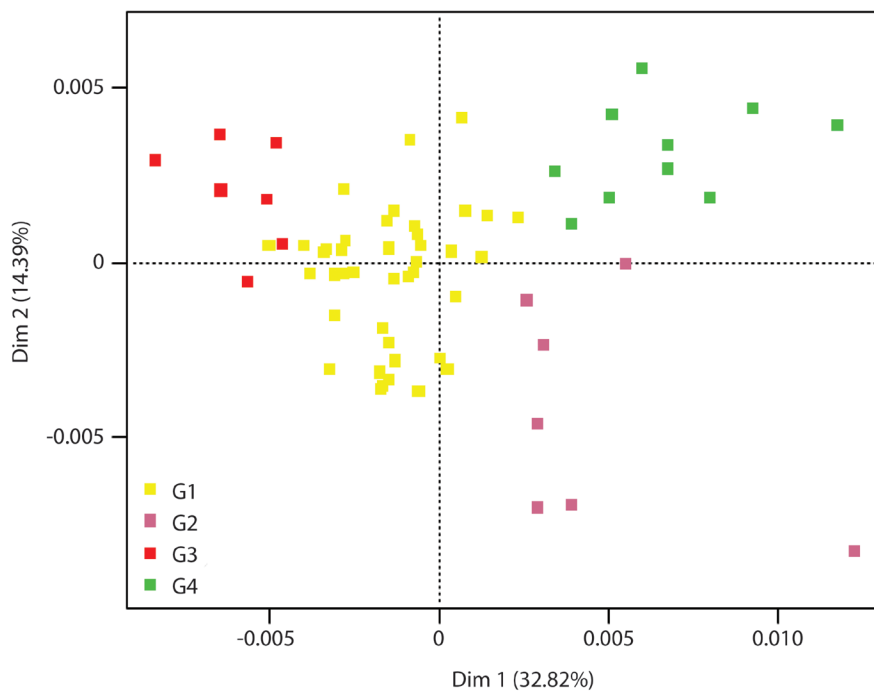


Fig. 4. Proyección de las estaciones sobre el compromiso. Los datos presentan una estructura de grupos y el número óptimo de grupos calculado a partir del coeficiente de silueta fue de 4.

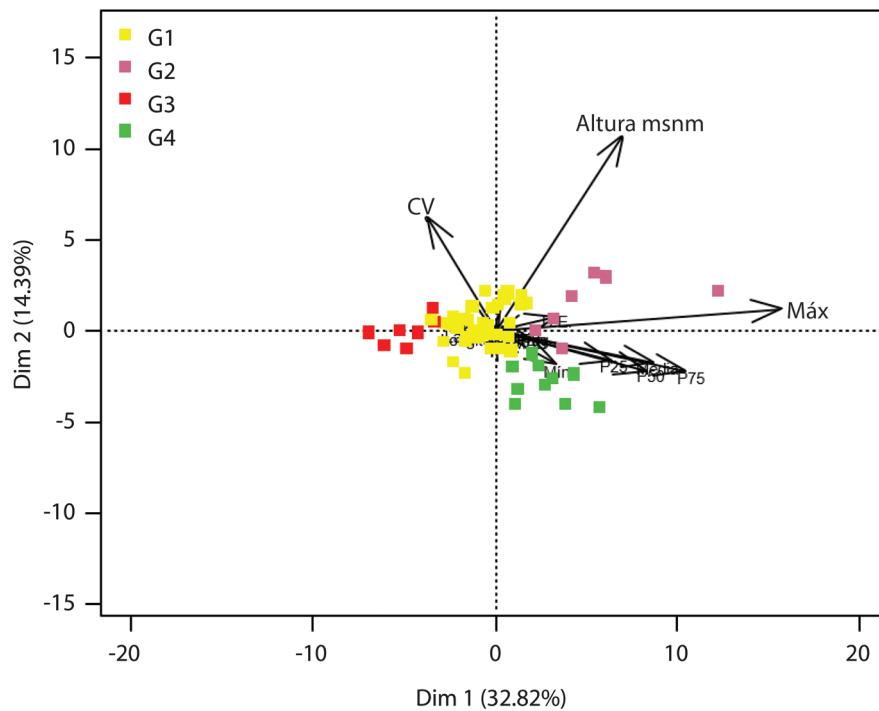


Fig. 5. SQRT Biplot. Proyección de todas las variables sobre la estructura compromiso.

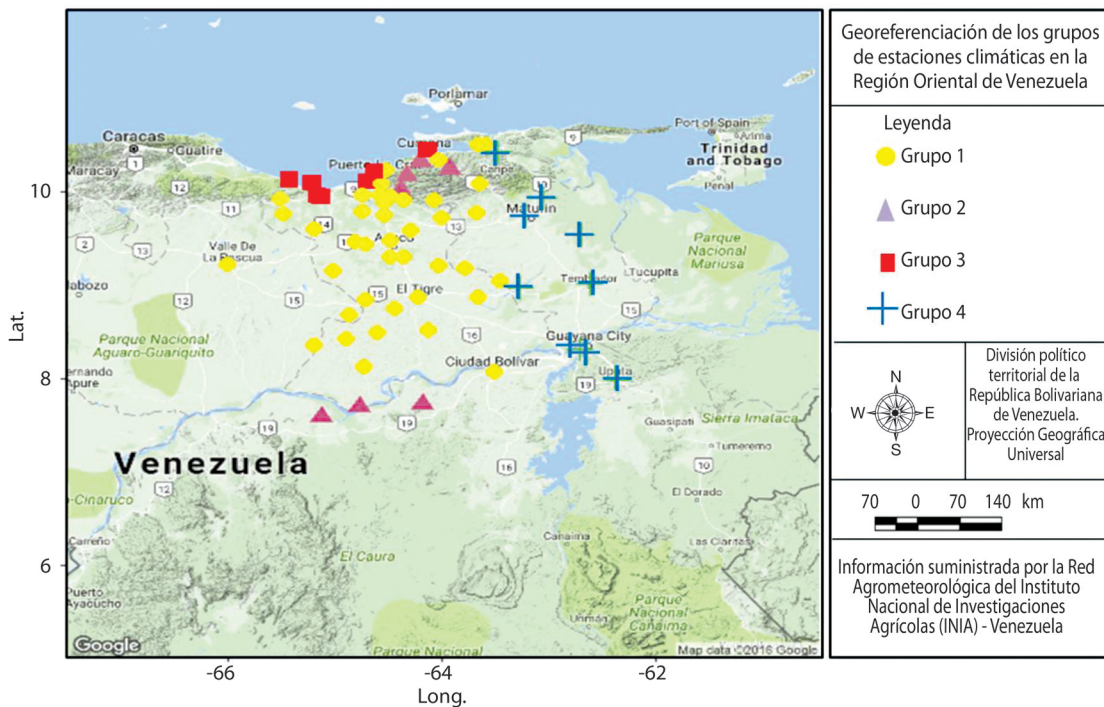


Fig. 6. Distribución espacial de las estaciones. Los colores corresponden a cada uno de los cuatro grupos obtenidos a partir del agrupamiento de los datos desde la matriz compromiso.

CUADRO 1

Grupos de estaciones climáticas según patrones de lluvias y ubicación geográfica en la Región Oriental de Venezuela

| Grupos | Estaciones climáticas | | |
|-----------|-----------------------|---------------------|------------------------|
| G1 | Anaco | Aragua de Barcelona | Campo Mata |
| | Cantaura | Cariaco | Cariaco-Muelle |
| | Chaparro Caserio | Chaparro Pueblo | Ciudad Bolívar |
| | Curataquiche | El Carito | El Guamo |
| | El Manguito | El Tigre | El Tigre-CIA-Guanipa |
| | Guanape | Guaribe-Tenepe | Guayabal |
| | La Corcovada | La Viuda | Los Yopales |
| | Mundo Nuevo | Onoto | Oritupano |
| | Pariaguan | Querecual | Quiamare |
| | Salsipuedes | San Bernardino | San Diego de Cabrutica |
| | San Joaquín | San Mateo | Santa Clara II |
| | Santa Inés | Santa Rosa | Santo Tomas |
| | Urica | Uverito | Valle De La Pascua |
| | Viento Fresco | | Zuata |
| G2 | Bajo Negro Viejito | Bergantín | La Hornallita |
| | Cancamure | Cumanacoa-La Granja | |
| | La Aurora | Musinacio | |
| G3 | Barcelona | Boca De Uchire | Clarines |
| | Cumana | La Cerca | |
| | Puerto La Cruz | Santa Clara | |
| G4 | Cachipo | Caroní en Macagua | Maturín |
| | Hacienda La Concordia | Joaquín | Temblador |
| | Puerto Ordaz-Ra 1 | San José De Buja | |
| | Upata | Gurí | |

500 metros sobre el nivel del mar). El régimen de lluvias en este grupo se caracteriza por ser Húmedo durante el periodo de mayo a octubre, con valores máximos de precipitación en el mes de agosto y un periodo seco muy marcado el resto del año. El monto promedio anual de lluvia está entre los 700-1 200mm, ubicándose entre las zonas subhúmedas de trópico bajo.

Dichos resultados se pueden interpretar como el grupo cuya magnitud está asociada con aquellos puestos pluviométricos que tienen altos promedios de lluvia en los meses de julio y agosto, con una dispersión asociada a la variabilidad de la lluvia, estableciendo cierta incertidumbre en la planificación agrícola de la zona (Caraballo et al., 2005; Olivares et al., 2012).

El Grupo 2 (G2), está representado por aquellas estaciones cuyos montos de lluvia mensual superan a los promedios de los otros grupos (1 800-2 100mm). Además, la estación "Bajo Negro" presenta una estructura diferenciada respecto de las demás. Esta estación está en una zona costera ubicada en el estado Sucre, cuyos montos de lluvia anual superan los 2 100mm en la mayoría del periodo de años de estudio, correspondiente a la Zona subhúmeda de trópico pre-montano. Este es el grupo que presenta mayor variabilidad interna y geográficamente se corresponde con el único grupo cuyas estaciones están separadas espacialmente.

El Grupo 3 (G3), presenta las estaciones ubicadas en las zonas costeras con régimen de lluvias frontal. Es el grupo más seco de todos (500-700mm) correspondiente a las zonas secas del trópico bajo, tendiendo a un período húmedo a finales de año. Al respecto, los G2 y G3 son similares en la primera dimensión del compromiso y sólo se separan por la segunda dimensión. Además, en la primera dimensión, estos grupos se encuentran bien diferenciados de los G1 y Grupo 4 (G4).

Se evidencia un gradiente de precipitación que va desde la costa de Anzoátegui hasta encontrarse con las zonas montañosas del estado Monagas, donde las precipitaciones alcanzan los 2000 mm anuales, lo cual puede ser atribuible al contraste de la zona de estudio en cuanto a su factor topográfico (Lobo et al., 2010).

Por último, el G4 abarca aquellas estaciones con montos elevados de lluvia (1 200-1 800mm), generalmente son lluvias de origen orográfico las que se presentan en el estado Monagas y lluvias debido a la influencia de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) en el estado Bolívar, correspondiente a zonas subhúmedas de trópico bajo. Se caracterizan por tener altos patrones de lluvia, por lo que se puede concluir que la primera dimensión separa estaciones con mayores y menores regímenes de lluvia; las del G3 son las de menores montos de lluvia, es decir son zonas secas.

Por otro lado, las estaciones del G3 se caracterizan por tener mayores niveles del coeficiente de variación, lo que indica que las lluvias son más variables entre los años en estas estaciones que en las demás. El G4 es el que presenta menores niveles del coeficiente de variación, por lo que se puede concluir que el patrón en esta región ha sido más estable en los 30 años.

Adicionalmente, mediante el análisis se observa que los meses con mayor variabilidad corresponden al periodo de febrero a abril y los de registros máximos de lluvias en los treinta años evaluados se presentan de mayo a agosto.

Al respecto, Martelo (2003a) y Poveda, Waylen y Pulwarty (2006) establecen que la cantidad de precipitación en la mayor parte del territorio venezolano es sumamente variable tanto en el tiempo como en el espacio. En los meses de la temporada seca (febrero y marzo), la mayor parte del país presenta precipitación mediana menor de 50 mm; incluso en febrero suele haber una alta proporción de datos que arrojan una mediana de cero (0mm). Para marzo la mediana en la mayor parte de Monagas y Bolívar está en el rango de 40-50mm.

En abril y mayo se observa la entrada de la temporada lluviosa, con un ascenso en dirección general del suroeste hacia el noreste del país, que indica el avance de la ZCIT, manteniéndose con medianas inferiores a 50mm toda la zona de estudio. En junio y julio esta bien establecida la temporada lluviosa en la región estudiada, con zonas donde la mediana alcanza los 150 y 200mm.

Durante el bimestre mayo-junio, Gutiérrez y Vargas (2005) mencionan que se presentan precipitaciones moderadas sobre todo el territorio nacional con un aumento de la intensidad sobre los Llanos Centrales y la Costa Norte. Haciendo particular énfasis en los Llanos Orientales se manifiestan altas probabilidades de precipitación con un núcleo presente en la Costa Central.

En este bimestre, ocurre el desplazamiento en dirección norte de la ZCIT, hecho evidenciado por el comportamiento de la Radiación Saliente de Onda Larga (OLR) sobre el país, la cual produce un aumento generalizado de las precipitaciones, a pesar de la intensificación de la alta presión en todos los niveles, el comportamiento de las precipitaciones es atribuido a la existencia de sistemas locales que introducen inestabilidad en el territorio inapreciables por la escala utilizada.

Con respecto al bimestre julio-agosto, Las precipitaciones más abundantes e intensas, ocurren en el sur del territorio nacional como producto de la influencia de la ZCIT. Sin embargo en la región oriental se aprecian precipitaciones de leve intensidad y con muy altas probabilidades de ocurrencia. En la costa central y occidental las

precipitaciones vuelven a hacerse presentes, siendo más intensas a medida que se adentran hacia la región llanera.

Agosto tiene un comportamiento interesante en términos de la distribución espacial de la mediana y los percentiles 25 y 75%, parece comportarse como un mes de transición, donde la lluvia en la zona costera de Anzoátegui disminuye significativamente, quedando concentrada en la mayoría de las estaciones del estado Anzoátegui y Guarico; mientras que en el estado Bolívar y Monagas comienza a aumentar la precipitación entre los 200 y 250mm para ese mes.

En septiembre y octubre se desarrolla plenamente el patrón que comenzó a manifestarse en Agosto. De acuerdo a Martelo (2003a) en los llanos orientales, se presenta un avance de una cuña desde el sureste, que pareciera indicar una cierta influencia de las condiciones del Atlántico Tropical Sur. En noviembre y diciembre se presenta en todo el país un patrón de disminución de la precipitación.

Los resultados estadísticos que describen la estacionalidad de la precipitación en Venezuela coinciden con las características climáticas de la región. Según Guenni et al. (2008) la variabilidad anual de la precipitación en la región bajo estudio está altamente influenciada por las condiciones geográficas dominantes: la presencia de la cordillera de La Costa y su interacción con el mar Caribe; la migración de la ZCIT y los impactos de los frentes fríos de Norteamérica.

Según Olivares et al. (2013a) en la mayor parte de Anzoátegui se clasifican como fuertemente estacional, indicando que las lluvias son más concentradas, lo que pudiera tener un efecto importante en la degradación de la zona no solo por la agresividad con la que las gotas impactan el suelo, sino también por no estar restringidas a un corto periodo estacional.

Se considera que estos resultados tienen gran importancia desde el punto de vista práctico en cuanto al manejo del recurso hídrico y de los pronósticos estacionales, ya que implica la necesidad de conocer con detalle local los rasgos de la precipitación que pudieran tener efectos significativos sobre el sistema socioeconómico, especialmente si la variabilidad está aumentando.

Por su parte, Martelo (2003b) establece que efectivamente las variables macroclimáticas representadas por las temperaturas del Atlántico y del Pacífico en conjunto con el Índice de Oscilación Sur (SOI) afectan de modo consistente a la lluvia sobre Venezuela, al menos para el nivel decadal, lo que tiene gran importancia práctica. Si efectivamente la lluvia tiende a presentarse en décadas predominante secas o lluviosas, el manejo de los recursos

hídricos podrá optimizarse en base a estas consideraciones para el sector agrícola.

El análisis STATIS permitió caracterizar los patrones de lluvias de una región venezolana usando las estadísticas descriptivas del periodo 1970-2000, en conjunto con los datos de georeferenciación y altura del sitio. Se obtuvieron cuatro grupos, tres de los cuáles se pueden diferenciar geográficamente. Las estaciones con montos de lluvia elevados, superiores a 2000 mm se ubican en los G2 y G4; este último grupo tuvo una mayor estabilidad en la variabilidad pluviométrica entre años debido a los menores niveles del coeficiente de variación. Por el contrario el G3 representa las estaciones climáticas ubicadas en las zonas más secas.

La metodología estadística desarrollada en este estudio pudo delinear zonas que mostraron patrones semejantes de precipitación. De este estudio se desprende la iniciativa de emplearse el mismo método teniendo como estructura común los años de registro, lo que proporcionaría una vía de exploración acerca de la evolución temporal de los patrones pluviométricos.

Así mismo, surge la necesidad de comprender específicamente la dinámica climática del país, y en consecuencia, obtener aplicaciones prácticas de este conocimiento, relacionadas con el comportamiento de la precipitación con el grupo de elementos del sistema climáticos, incorporando un aspecto práctico en agricultura vinculado con la distribución de la lluvia en periodos menores de un mes.

AGRADECIMIENTOS

La realización de esta investigación fue posible, gracias al apoyo de las investigadoras Adriana Cortez y Raquel Parra en la elaboración de la matriz de datos de lluvia. A ellas un agradecimiento sincero.

REFERENCIAS

- Abdi, H., Valentin, D., Chollet, S., & Chrea, C. (2007). Analyzing assessors and products in sorting tasks: DISTATIS, theory and applications. *Food quality and preference*, 18(4), 627-640.
- Abdi, H., Williams, L. J., Valentin, D., & Bennani-Dosse, M. (2012). STATIS and DISTATIS: optimum multitable principal component analysis and three way metric multidimensional scaling. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics*, 4(2), 124-167.
- Ablan, M., Andressen, R., Vargas, M. P., & Acevedo, M. (2008). Propuesta metodológica para el control de calidad de datos de precipitación. *Agronomía Tropical*, 58(1), 57-60. Recuperado de: http://sian.inia.gov.ve/repositorio/revistas_ci/Agronomia%20Tropical/at5801/pdf/ablan_m.pdf
- Caraballo, L., Pérez, M., & Marciano, M. (2005). Régimen y distribución de las lluvias en El Tigre, estado Anzoátegui, Venezuela. *Boletín Geominas*, 3 (37), 67-72.
- Cortez, A., Rodríguez, M. F., Rey, J. C., Lobo, D., Parra, R., Ovalles, F., & Gabriels, D. (2011). Análisis de la agresividad y concentración de las precipitaciones en Venezuela. II. Región noroccidental. *Bioagro*, 23 (1), 13-18. Recuperado de: http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-33612011000100002
- des Plantes, H. L. H. (1976). *Structuration des tableaux à trois indices de la statistique: théorie et application d'une méthode d'analyse conjointe* (Doctoral dissertation, Université des sciences et techniques du Languedoc).
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., González, L., Tablada, M., & Robledo, C. W. (2011). InfoStat versión 2011. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- Escoufier, Y. (1973). Le traitement des variables vectorielles. *Biometrics*, 751-760.
- Gabriel, K. R. (1971). The biplot graphic display of matrices with application to principal component analysis. *Biometrika*, 58(3), 453-467.
- Guenni, L., Degryze, E., & Alvarado, K. (2008). Análisis de la tendencia y la estacionalidad de la precipitación mensual en Venezuela. *Revista Colombiana de Estadística*, 31(1), 41 a 65. Recuperado de: www.scielo.org.co/pdf/rce/v31n1/v31n1a03.pdf
- Gutiérrez, E. J., & Vargas, C. (2005). *Climatología sinóptica de los patrones circulatorios de la estación lluviosa venezolana en el período 1978-1999*. Universidad Central de Venezuela, Caracas.
- Jones, B., & Sall, J. (2011). JMP statistical discovery software. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics*, 3(3), 188-194.
- Kaufman, L., & Rousseeuw, P. J. (2009). *Finding groups in data: an introduction to cluster analysis* (Vol. 344). John Wiley & Sons.
- Lavit, C., Escoufier, Y., Sabatier, R., & Traissac, P. (1994). The act (statis method). *Computational Statistics & Data Analysis*, 18(1), 97-119.
- Lobo, D., Cortez, A., Rodríguez, M., Ovalles, F., Rey, J. C., Gabriels, D., & Parra, R. (2010). Análisis de la agresividad y concentración de las precipitaciones en Venezuela. I. Región de los Llanos. *Bioagro* 22(3): 169-176. Recuperado de: http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-33612010000300001
- Makarau, A. (1992). Informe del ponente sobre Sequia para la Undecima Reunión de la comisión de climatología.

Organización Meteorológica Mundial, La Habana, Cuba, mimeografiado, 6 p.

- Martelo, M. T. (2003a). *La precipitación en Venezuela y su relación con el sistema climático*. Caracas: Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales, Dirección General de Cuencas Hidrográficas, Dirección de Hidrología, Meteorología y Oceanía. 72p.
- Martelo, M. T. (2003b). *Influencia de las variables macroclimáticas en el clima de Venezuela*. Caracas: Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales, Dirección General de Cuencas Hidrográficas, Dirección de Hidrología, Meteorología y Oceanía. 72p.
- Minasny, B., McBratney, A. B., & Whelan, B. M. (2002). Vesper version 1.6. Australian Centre for Precision Agriculture. The University of Sidney. <http://www.usyd.edu.au/su/agric/acpa>
- Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales. MARN. (2005). *Primera Comunicación Nacional en Cambio Climático de Venezuela*. Caracas: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), Fondo Mundial para el Medio Ambiente y Fundambiente. 134p.
- Olivares, B., Caraballo, L., & Torrealba, J. (2013a). Variabilidad del régimen de precipitación en el periodo 1990-2009 en la localidad de El Tigre estado Anzoátegui, Venezuela. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*, 30(1): 19-32. Recuperado de: http://revfacagronluz.org.ve/PDF/enero_marzo2013/v30n1a20131932.pdf
- Olivares, B., Cortez, A., Parra, R., Rodríguez, M., & Guevara, E. (2013b). Aplicación de procedimientos estadísticos para el control de calidad de las series de precipitación mensual de los llanos orientales venezolanos. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 30(3): 367-391. Recuperado de. http://revfacagronluz.org.ve/PDF/julio_septiembre2013/v30n3a2013367391.pdf
- Olivares, B. R., Parra, E., Guevara, A., Cortez, M., & Rodríguez, F. (2012). Patrones de homogeneidad pluviométrica en estaciones climáticas del estado Anzoátegui, Venezuela. *Multiciencias*, 12(Extraordinario): 11-17. Recuperado de. <http://www.produccioncientifica.luz.edu.ve/index.php/multiciencias/article/view/18948/18939>
- OMM. (2009). La Organización Meteorológica Mundial de un vistazo. Suiza: Organización Meteorológica Mundial. Recuperado de <http://www.wmo.int/pages/about/documents/OMM-vistazo-es.pdf>
- Pages, J. P., Escoufier, Y., & Cazes, P. (1976). Opérateurs et analyse des tableaux à plus de deux dimensions. *Cahiers du Bureau universitaire de recherche opérationnelle Série Recherche*, 25, 61-89.
- Parra, R., & Cortez, A. (2005). Control de calidad de series de precipitación de las series de precipitación del INIA Venezuela en el periodo 1970-2000. *Rev. Arg. de Agrometeorología*, (5-6): 63-73.
- Poveda, G., Waylen, P., & Pulwarty, R. (2006). Annual and Inter-annual Variability of Present Climate in Northern South America and Southern Mesoamerica. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 234(1), 3-27.
- R Core Team (2015). R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Rousseeuw, P. J. (1987). Silhouettes: a graphical aid to the interpretation and validation of cluster analysis. *Journal of computational and applied mathematics*, 20, 53-65.
- Vivien, M., & Sabatier, R. (2004). A generalization of STATIS-ACT strategy: DO-ACT for two multiblocks tables. *Computational statistics & data analysis*, 46(1), 155-171.
- Zingaretti, M. L., Demey-Zambrano, J. A., Vicente-Villardón, J. L., & Demey, J. R. (2015). Kimod: A k-tables approach to integrate multiple Omics-Data. R package version 1.0.0.