



Luna Azul
ISSN: 1909-2474
Universidad de Caldas

Olivares, Barlin Orlando; Zingaretti, María Laura
APLICACIÓN DE MÉTODOS MULTIVARIADOS PARA LA CARACTERIZACIÓN
DE PERIODOS DE SEQUÍA METEOROLÓGICA EN VENEZUELA
Luna Azul, núm. 48, 2019, Enero-Junio, pp. 172-192
Universidad de Caldas

DOI: <https://doi.org/10.17151/luaz.2019.48.10>

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=321764933009>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en [redalyc.org](https://www.redalyc.org)

UDEM [redalyc.org](https://www.redalyc.org)

Sistema de Información Científica Redalyc
Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso
abierto

APLICACIÓN DE MÉTODOS MULTIVARIADOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE PERIODOS DE SEQUÍA METEOROLÓGICA EN VENEZUELA

Barlin Orlando Olivares¹y María Laura Zingaretti²

Recibido: 30 de marzo de 2018, aceptado: 30 de abril de 2019, actualizado: 30 diciembre de 2019

DOI: 10.17151/luaz.2019.48.10

RESUMEN

El análisis multivariado consiste en determinar si existen maneras más simples de representar un conjunto de datos complejo, además de explorar si las observaciones se concentran en grupos y si existe una interdependencia entre los elementos. Este tipo de técnicas se han utilizado ampliamente para analizar datos climatológicos. Es por ello que el objetivo de esta investigación fue caracterizar la ocurrencia de períodos de sequía por medio de series temporales del Índice Normalizado de Precipitación (SPI) para siete localidades agrícolas de Venezuela, mediante el uso de dos métodos multivariados. A través del SPI, se cuantificaron las condiciones de déficit o exceso de precipitación en las localidades agrícolas con una escala mensual del periodo 1980-2014. Para el análisis, se usó la combinación de dos métodos multivariados: el Análisis de Coordenadas Principales de las matrices de datos usando distancia Euclídea y el Análisis de Conglomerados. En las siete localidades se describieron dos o tres grupos de años de SPI. En el caso de las localidades que resultaron con tres grupos (CENIAP, El Cují y Yaritagua) estos se categorizaron en años húmedos, años intermedios y años con déficit hídrico significativo. En tanto que, en el caso de las localidades que resultaron con dos grupos (Turén, Quíbor, Mucuchíes y Bramón) se clasificaron en años húmedos y años asociados al déficit hídrico. La aplicación de estos métodos multivariados permitió identificar los patrones espaciales mensuales dominantes del SPI sobre las localidades estudiadas, además de estar relacionados con la ocurrencia de sequías locales de gran importancia desde el punto de vista agrícola.

PALABRAS CLAVE: Déficit hídrico, estadística, precipitación, agricultura, meteorología.

APPLICATION OF MULTIVARIATE METHODS FOR THE CHARACTERIZATION OF METEOROLOGICAL DROUGHT PERIODS IN VENEZUELA

ABSTRACT

Multivariate analysis consists in determining if there are simpler ways to represent a complex set of data, besides exploring if the observations are concentrated in groups and if there is interdependence between the elements. These types of techniques have been widely used to analyze climatological data. That is why the objective of this research was to characterize the

occurrence of drought periods by means of time series of the Standard Precipitation Index (SPI) for seven agricultural locations in Venezuela, by using two multivariate methods. The conditions of deficit or excess of precipitation in the agricultural localities were quantified through the SPI with a monthly scale of the period 1980-2014. The combination of two multivariate methods was used for the analysis: Principal Coordinate Analysis of the data matrices using Euclidean distance and Cluster Analysis. Two or three groups of years of SPI were described in the seven locations. In the case of the locations that resulted with three groups (CENIAP, El Cují and Yaritagua), these were categorized in wet years, intermediate years and years with significant water deficit. Meanwhile, in the case of the locations that resulted with two groups (Turén, Quibor, Mucuchíes and Bramón), they were classified into wet years and years associated with the water deficit. The application of these multivariate methods made it possible to identify the dominant monthly spatial patterns of the SPI on the studied locations, besides being related to the occurrence of local droughts of great importance from the agricultural point of view.

Keywords: Water deficit, statistics, precipitation, agriculture, meteorology.

Introducción

El actual interés por las repercusiones del desarrollo económico en el clima y la manera en la que la variabilidad del clima y el cambio climático influyen en las sociedades humanas, pone de manifiesto la necesidad de extender las investigaciones de los procesos físicos y dinámicos que intervienen en el sistema climático así como la necesidad de una descripción estadística de los mismos.

El principal beneficio de la utilización de datos climatológicos no consiste solamente en indicar los datos sino en hacer deducciones en función de una representación o muestras de datos observados de ciertos fenómenos físicos complejos que son útiles para los distintos usuarios de información climática (Haylock et al. 2008; Olivares, Zingaretti, Demey y Demey 2017; Olivares, Zingaretti, Demey y Demey, 2016). Particularmente, la estadística multivariada es la herramienta que permite convertir los datos brutos en información útil, empleándose para analizar datos, modelos climáticos y para diversas predicciones climáticas. Los métodos estadísticos confieren un valor de confianza a cualquier decisión basada en la aplicación de los procedimientos (OMM, 1990; Wilks, 2002; OMM, 2011; Olivares, Parra y Cortez, 2017)

Los usos que se hacen de la información climatológica pueden clasificarse en dos grandes categorías: usos estratégicos y usos tácticos. Los usos tácticos son aquellos en los que los productos y los datos ayudan a resolver problemas inmediatos, particulares, a corto plazo (OMM, 2011; Olivares, Cortez, Muñetones y Casana, 2016). La información que normalmente se proporciona para los usos tácticos comprende copias de las observaciones oficiales de la ocurrencia de un fenómeno meteorológico, resúmenes de datos históricos y la ubicación de un fenómeno en un

contexto histórico. Un ejemplo de uso táctico es el empleo de análisis de datos de observación recientes para ayudar a gestionar el uso de agua durante un episodio de sequía meteorológica.

Bajo este contexto, las sequías meteorológicas representan una forma extrema de inseguridad de agua, socavando los medios de sustento familiar y reduciendo el potencial de crecimiento de la economía de subsistencia con consecuencias devastadoras para el desarrollo humano. El desarrollo de estudios de identificación, caracterización y evaluación de la sequía como amenaza vinculada con la variabilidad natural del clima, puede conducir a favorecer la reducción de los impactos adversos mencionados (Olivares, 2017; Paredes-Trejo y Olivares, 2018).

Debido a que las sequías meteorológicas configuran un gran número de patrones espaciales y que el objetivo de este estudio es caracterizar la ocurrencia de períodos de sequía según el Índice Normalizado de Precipitación (SPI, **Standardized Precipitation Index**) en diferentes localidades agrícolas distribuidas a lo largo de Venezuela, se recurre al uso combinado de dos técnicas de análisis multivariado para tal fin: en primer lugar, un Análisis de Coordenadas Principales (o Escalamiento Multidimensional Métrico) y en segundo lugar, un Análisis de Conglomerados (CA, **cluster analysis**, siglas en inglés) sobre las dos primeras coordenadas principales retenidas. Estas coordenadas son combinaciones lineales de todos los patrones mensuales del SPI y retienen la mayor proporción de la variabilidad original.

Con relación al Análisis de Coordenadas Principales, este representa una generalización del Análisis de Componentes Principales en el cual se utiliza una medida de similaridad entre los individuos. Sus objetivos y limitaciones son similares. Parte de una matriz de similaridad para obtener una representación geométrica basada en una distancia (distancia Euclídea), razonablemente compatible con la similaridad (Borg y Groenen, 2005; Abdi, Williams, Valentin y Bennani-Dosse, 2012). Es una técnica para reducir las dimensiones de los datos de múltiples variables, el proceso simplifica un conjunto de datos complejo y se ha utilizado ampliamente para analizar datos climatológicos.

Por otra parte, el análisis de conglomerados tiene por objeto dividir las observaciones en grupos con características semejantes. Sin embargo, la mayoría de los métodos se basan en la proporción en que la distancia entre las medias de dos grupos es mayor que la distancia media dentro de un grupo. La medida de la distancia no tiene que ser la distancia euclídea habitual, pero debería cumplir con ciertos criterios tales como la simetría, la no negatividad, la desigualdad del triángulo y la certeza fija (Kaufman y Rousseeuw, 2009). Este tipo de análisis se ha utilizado con diversas finalidades, como la construcción de regiones de precipitación homogéneas (Olivares, Parra, Cortez y Rodríguez, 2012; Rodríguez et al. 2013; Paredes, Barbosa y Guevara, 2015), el análisis de climatologías sinópticas (Hernández et al. 2017; Olivares, Cortez, Parra, Rodríguez y Guevara, 2013) y en estudios de cambios climáticos (Sensoy, Peterson, Alexander y Zhang, 2007; Olivares, Guevara y Demey, 2012; Paredes, Barbosa, Ruiz y Peñaloza, 2016; Olivares et al. 2017) entre otros.

Este tipo de estudio pone en relevancia el análisis climatológico de la sequía basándose en métodos estadísticos universales, mediante programas informáticos ventajosos para los investigadores en el área, debido a que proporcionan muchas herramientas aplicables a la gestión, el análisis y la notificación de datos (Dalgaard, 2002; Zingaretti, Demey-Zambrano, Vicente-Villardón y Demey, 2015).

Es precisamente por esta razón que el estudio va dirigido a la actualización de conocimientos de los distintos profesionales que trabajan con datos climatológicos, sobre todo en las técnicas vigentes que tienen aplicaciones prácticas y útiles en la climatología, debido a que van apareciendo rápidamente nuevos y mejores métodos estadísticos y analíticos para tales fines.

Materiales y métodos

El área bajo estudio estuvo constituida por siete estaciones que conforman la red de estaciones agrometeorológicas del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA) ([Figura 1](#)), abarcando cuatro regiones naturales de Venezuela: los Llanos (estación Turén en el estado Portuguesa), la Cordillera Central (estación CENIAP en el estado Aragua), el Sistema Coriano (estación Quíbor y El Cují en el estado Lara; estación Yaritagua en el estado Yaracuy) y los Andes (estación Mucuchíes estado Mérida y Bramón en Táchira).

La selección de las estaciones se basó en el criterio establecido por la Organización Meteorológica Mundial (Sevruk, 1989), la cual establece que se requiere un mínimo de 35 años de datos continuos para estudios de variabilidad de la precipitación en regiones tropicales.

A las series de precipitación mensual del periodo 1980-2014, se les aplicó el control de calidad mediante la determinación de datos faltantes, el cálculo de estadística descriptiva, análisis de concentración, tendencia de series temporales y análisis de dispersión, de acuerdo a la metodología propuesta por Parra y Cortez (2005) y los procedimientos estadísticos desarrollados por Ablan, Anderssen, Vargas y Acevedo (2008) y Olivares et al. (2013) para estaciones climatológicas, utilizando los programas estadísticos JMP v.6 (Jones y Sall, 2011), InfoStat v.11 (Di Rienzo et al. 2011) y Vesper v.1.6 (Minasny, McBratney y Whelan, 2002).

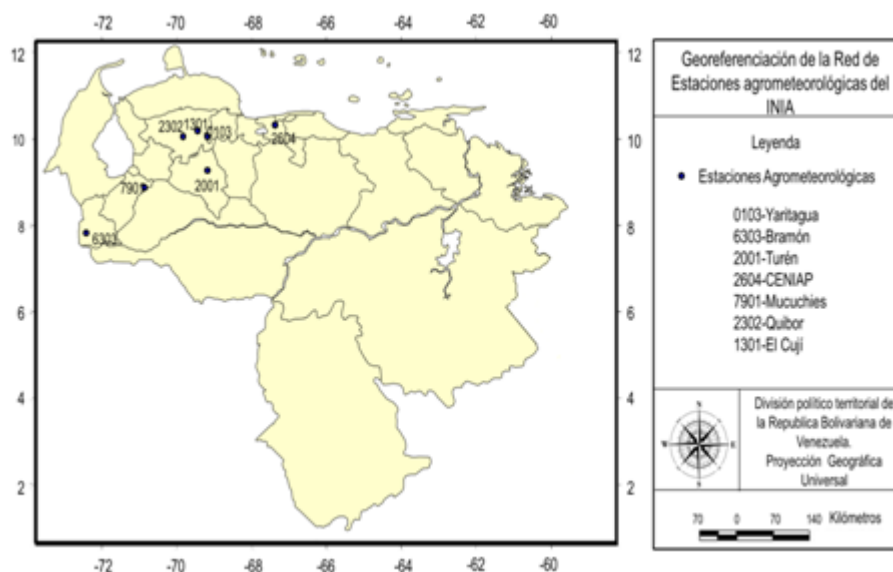


Figura 1. Distribución geográfica de la red de estaciones agrometeorológicas bajo estudio en Venezuela. Fuente: elaboración propia.

En este trabajo, para la caracterización de la sequía en las áreas bajo estudio, se utilizó el Índice Normalizado de Precipitación (SPI) desarrollado por McKee, Doesken y Kleist (1993), para lo cual se requiere únicamente el uso de series históricas de precipitación mensual y ofrece la ventaja de manipular diversas escalas de tiempo, haciendo posible identificar los impactos de la sequía en periodos de corto, mediano y largo plazo; además, permite identificar y describir convenientemente el fenómeno precisando su inicio, intensidad, duración, magnitud y cobertura espacial. Este método admite que la lluvia es el principal factor que define si un período o área determinada son o no deficientes de agua.

A través del SPI, se cuantificaron las condiciones de déficit o exceso de precipitación en las localidades agrícolas para una escala mensual del periodo 1980-2014, cuya metodología es reportada por Olivares et al. (2016a, 2016b), Olivares (2017), Parra et al. (2018) y Cortez et al. (2018). Los criterios de selección de este periodo de tiempo fueron la confiabilidad y calidad de las series de datos de precipitación mensual.

Con respecto al análisis de los datos de SPI de las siete localidades, se ejecutó la metodología descrita por Olivares y Zingaretti (2018) la cual consiste en la imputación de datos faltantes utilizando un método basado en la Descomposición en Valores Singulares (Schmitt, Mandel y Guedj, 2015). Posteriormente, se desarrolló el Análisis de Coordenadas Principales (o Escalamiento Multidimensional Métrico) de las matrices de datos usando distancia Euclídea (Kruskal y Wish, 1978) y, finalmente, se realizó un Análisis de Conglomerados sobre las dos primeras coordenadas principales usando el algoritmo de Ward (Kaufman y Rousseeuw, 2009), utilizando el paquete estadístico InfoStat (Di Rienzo et al., 2011).

El escalamiento métrico multidimensional es un método que tiene como premisa la existencia de un isomorfismo entre las relaciones relativas de los objetos en el espacio original y las relaciones y

medidas de los objetos en el espacio euclídeo; es decir, se asume que el método preserva las relaciones del espacio original en el nuevo espacio métrico y dos individuos próximos en el espacio n - dimensional, se deben proyectar conjuntamente (Borg y Groenen, 2005).

En consecuencia, las observaciones proyectadas en las dos primeras coordenadas principales constituyen la mejor aproximación bidimensional de los patrones globales de sequía para cada conjunto de estaciones. Por otro lado, se determinaron conglomerados usando la información retenida por las dos primeras coordenadas, con el principal objetivo de caracterizar los patrones de sequía. El número de conglomerados fue determinado de acuerdo a la información proporcionada por el coeficiente de silueta (Rousseeuw, 1987).

De acuerdo con los resultados obtenidos, en las siete localidades se escogieron dos o tres grupos de años de SPI. En el caso de las localidades que resultaron con tres grupos, estos se categorizaron en años húmedos, intermedios o condiciones normales y años con déficit hídrico significativo. En tanto que, en el caso de las localidades que resultaron con dos grupos, se clasificaron en años húmedos y secos o asociados a déficit hídrico. Las categorías se escogieron de acuerdo a la media del índice dentro de cada grupo: en el caso de dos grupos, la media más elevada corresponde a años con más humedad; en tanto que, en el caso de tres grupos, el valor de la media más elevada corresponde a “húmedo”, el valor intermedio a “condiciones normales” y el valor más pequeño a “años secos”.

Resultados y discusión

Localidad de Turén

Los años de la serie temporal en la localidad de Turén se dividieron en dos grupos ([cuadro 1](#)). Las diferencias entre los grupos se muestran principalmente en el primer eje. Los años con valores positivos en este eje son más húmedos que los años con valores negativos. Además, en la [figura 2](#), los años 2000 y 2005, se caracterizan por ser “extremos”, lo que se debe a que presentaron valores negativos del SPI (correspondientes a sequía) en los meses de junio y julio, cuando en términos generales, son meses lluviosos en todos los demás años. Es importante señalar que para esta localidad solo se contó con un registro de lluvias de 22 años, por lo que solo se pudo calcular el SPI para ese total de años.

Grupo	Años	Característica
Grupo 1	1980, 1982, 1996, 1998, 1999, 2000, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2011, 2013	Se clasifican como años con altos valores del SPI. Años más húmedos de la serie temporal.
Grupo 2	1981, 1994, 1995, 1997, 2001, 2009, 2010, 2012	Se clasifican como años con valores bajos del SPI. Años con prevalencia de déficit hídrico en la serie temporal

Cuadro 1. Categorización de los años basada en la similitud de las series mensuales del SPI mediante la combinación de métodos multivariados en Turén.

Para los cultivos: maíz (*Zea mays* L), arroz (*Oryza sativa* L) y caraota (*Phaseolus vulgaris* L) desarrollados en esta zona, el estudio de Puche, Silva y Warnok (2004) establece una disminución de los rendimientos por el incremento de la temperatura mínima en la zona, representando el factor principal en las reducciones del crecimiento y las cosechas de los cultivos, mientras que la variación de la precipitación (Cortez et al. 2016), y otras variables asociadas al balance hídrico, afectarían en poca medida el rendimiento de los cultivos evaluados. La reducción de rendimiento puede estar asociada al incremento de las pérdidas por respiración debido a las temperaturas nocturnas más elevadas. Adicionalmente, se concluye que el ciclo de los cultivos se reduce en poca medida, lo cual se traduce en ligeras reducciones en la demanda y consumo de agua.

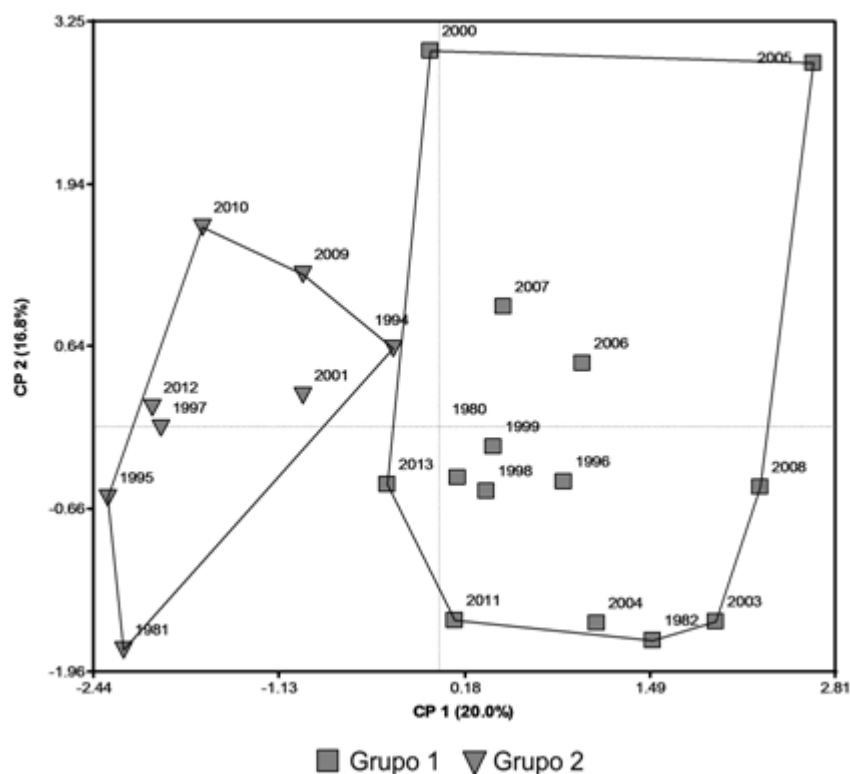


Figura 2. Combinación del análisis de coordenadas principales y análisis de conglomerados para la serie temporal 1980-2014 en Turén.

Localidad Maracay (CENIAP)

La Cordillera Central constituida por los estados Aragua, Carabobo y Miranda, se vio afectada por la disminución de la precipitación y meses húmedos generada por la sequía meteorológica, en este sentido, una consecuencia del cambio climático estaría asociado a la conversión de grandes extensiones de área en zonas secas (precipitaciones inferiores a 700 mm) donde existirán grandes déficit hídricos, acentuándose los problemas de erosión (Cortez et al. 2018).

En CENIAP, estado Aragua, se muestran tres grupos bien diferenciados ([cuadro 2](#)). El año 1982 se muestra como un valor atípico dentro del grupo 3, este año presenta un valor extremadamente bajo del índice en el mes de noviembre. Además, el grupo 1 (valores más altos del índice, años más húmedos) es el más variable ([figura 3](#)).

Grupo	Años	Característica
Grupo 1	1981, 1988, 1996, 1999, 2005, 2010, 2011	Se clasifican como años con altos valores del SPI. Años más húmedos de la serie temporal.
Grupo 2	1994, 1995, 2000, 2007, 2014	Se clasifican como años con valores intermedios del SPI. Años moderadamente secos.
Grupo 3	1980, 1982, 1983, 1984, 1985, 1986, 1987, 1989, 1990, 1991, 1992, 1993, 1997, 1998, 2001, 2002, 2003, 2004, 2006, 2008, 2009, 2012, 2013	Se clasifican como años con valores bajos del SPI. Años con prevalencia de déficit hídrico en la serie temporal

Cuadro 2. Categorización de los años basada en la similitud de las series mensuales del SPI mediante la combinación de métodos multivariados en CENIAP.

Entre los rubros agrícolas más afectados por el cambio del régimen hídrico en el estado Aragua (CENIAP), se encuentra el área cosechada de cereales (56%), seguidos de la caña de azúcar (26%) y el cambur (12%), muy por debajo están el cacao (3%), el tomate, plátano, pimentón y tabaco con menos de 1% cada uno (Puche et al. 2004). Los rendimientos varían según el cultivo, la caña destaca con 74.187 kg.ha⁻¹ y el cacao con 179 kg/ha. Los usos permanentes (bananos, cítricos, pastos) se vieron moderadamente afectados por el déficit hídrico; en contraste, los cultivos anuales mostraron una mayor capacidad de tolerar los cambios del régimen de lluvias.

La ocurrencia de la sequía representa una disminución en la duración del período de crecimiento, con respecto a la condición normal de las lluvias. Esta reducción en el número de días se acentúa en la presencia y duración de los períodos húmedos. En condiciones normales el período húmedo es de 46 días, pero en algunos años secos se pueden generar dos períodos húmedos de una duración mayor (Cortez et al. 2018). Esta condición no es muy aceptable para el desarrollo de los cultivos, especialmente los de ciclo largo (o perennes), como es el caso de la caña de azúcar

(*Saccharum officinarum* L), los cítricos y las musáceas (plátano y banana), ya que la suplencia de agua no es continúa sino repartida en dos ciclos o períodos (Olivares, Rey, Lobo, Gómez y Landa, 2019).

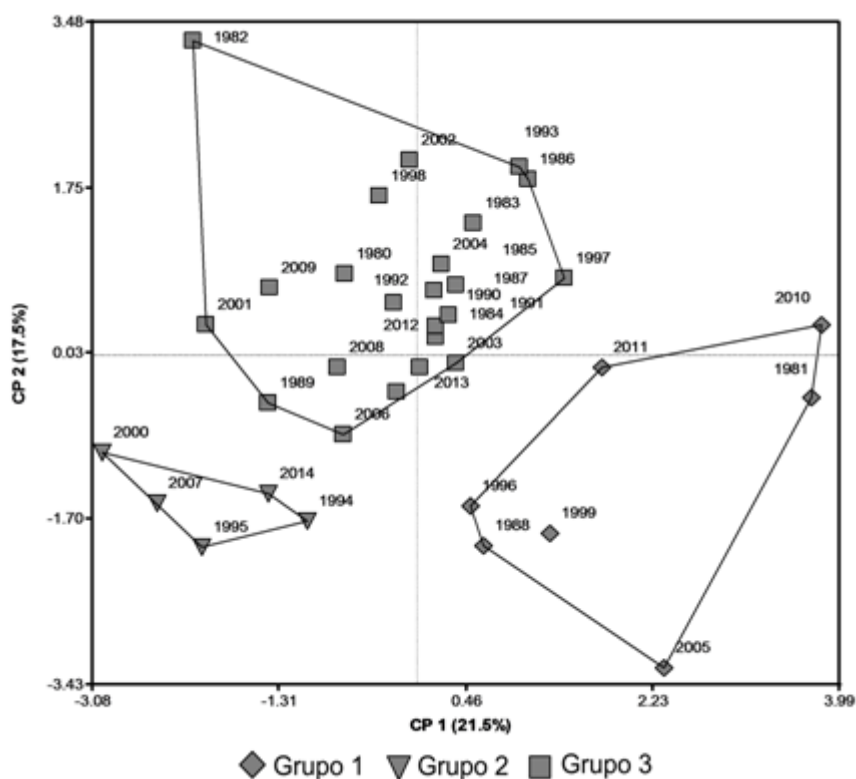


Figura 3. Combinación del análisis de coordenadas principales y análisis de conglomerados para la serie temporal 1980-2014 en CENIAP.

También se presentan algunos años cuya situación es más drástica, ya que no existe un período húmedo y el período de crecimiento se reduce. Para los cultivos de la zona, que son de ciclos cortos o anuales, estos son fáciles de adaptar a estas situaciones de reducción de estos lapsos, como es el caso del tomate, cereales y pimentón.

Localidad Quíbor

La localidad Quíbor, se divide en dos grupos ([cuadro 3](#)). El primer eje separa ambos grupos. Los valores negativos de este eje se corresponden con años más secos y los positivos, con años más húmedos. Los años más húmedos presentan un mayor grado de variabilidad ([Figura 4](#))

Grupo	Años	Característica
Grupo 1	1999, 2002, 2004, 2006, 2008, 2011, 2012	Se clasifican como años con altos valores del SPI. Años más húmedos de la serie temporal.
Grupo 2	1980, 1982, 1983, 1998, 2000, 2001, 2003, 2005, 2007, 2009, 2014	Se clasifican como años con valores bajos del SPI. Años con prevalencia de déficit hídrico en la serie temporal

Cuadro 3. Categorización de los años basada en la similitud de las series mensuales del SPI mediante la combinación de métodos multivariados en Quíbor.

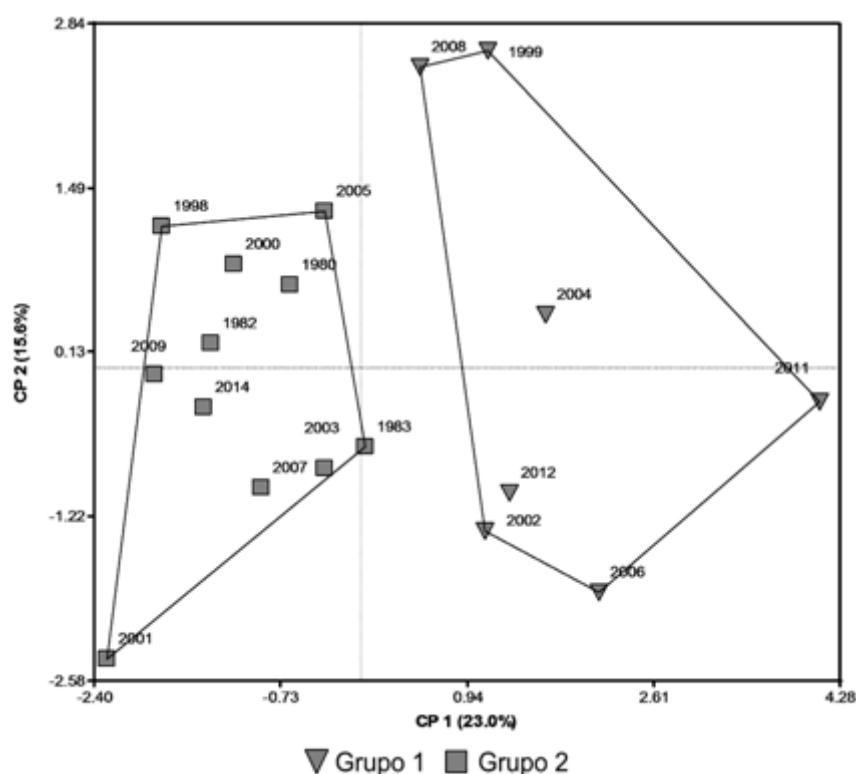


Figura 4. Combinación del análisis de coordenadas principales y análisis de conglomerados para la serie temporal 1980-2014 en Quíbor.

Para el Sistema Coriano existe un marcado déficit hídrico, con extremos secos y húmedos y zonas de transición climática; en sentido general, se observan dos tipos de clima: uno seco o semiárido, de escasa precipitación y alta evapotranspiración, que domina en la parte central y norte correspondiente a la depresión de Carora-Quíbor-Barquisimeto, y la de Baragua-Siquisique, con serranías a sus alrededores e interiores y otro subhúmedo a húmedo al sur y sureste del estado.

Son varias las causas que originan el problema en Lara (Quíbor y El Cují), sin embargo, predominan las derivadas de las condiciones climáticas como la escasez de agua en un 46% aproximado del territorio, lo que obliga el uso excesivo de las aguas superficiales y subterráneas para suplir las necesidades urbanas, industriales y agrícolas (Olivares et al. 2016b).

Localidad El Cuji

Las tierras de El Cuji son altamente susceptibles a la degradación como consecuencia de sus inestables características geológicas y topográficas frente a la inclemencia del clima. En esta localidad se presentan tres grupos diferenciados ([cuadro 4](#)). El primer eje separa los grupos 2 y 3 del 1. El grupo representado por rombos es el de los años más húmedos y el 2005 se presenta como un valor atípico, que se debe a que tuvo un valor extremadamente bajo del índice en el mes de julio ([figura 5](#)). Adicionalmente, este año es considerado como seco. Además, los dos primeros grupos no tienen diferencias significativas en el índice medio, solo se diferencian en la distribución de las lluvias anuales.

Grupo	Años	Característica
Grupo 1	1981, 2000, 2001, 2005, 2011	Se clasifican como años con altos valores del SPI. Años más húmedos de la serie temporal.
Grupo 2	1980, 1982, 1983, 1984, 1985, 1986, 2002, 2003, 2004, 2007, 2009, 2012, 2014	Se clasifican como años con valores intermedios del SPI. Años moderadamente secos.
Grupo 3	2006, 2008, 2010, 2013	Se clasifican como años con valores bajos del SPI. Años con prevalencia de déficit hídrico en la serie temporal

Cuadro 4. Categorización de los años basada en la similitud de las series mensuales del SPI mediante la combinación de métodos multivariados en El Cuji.

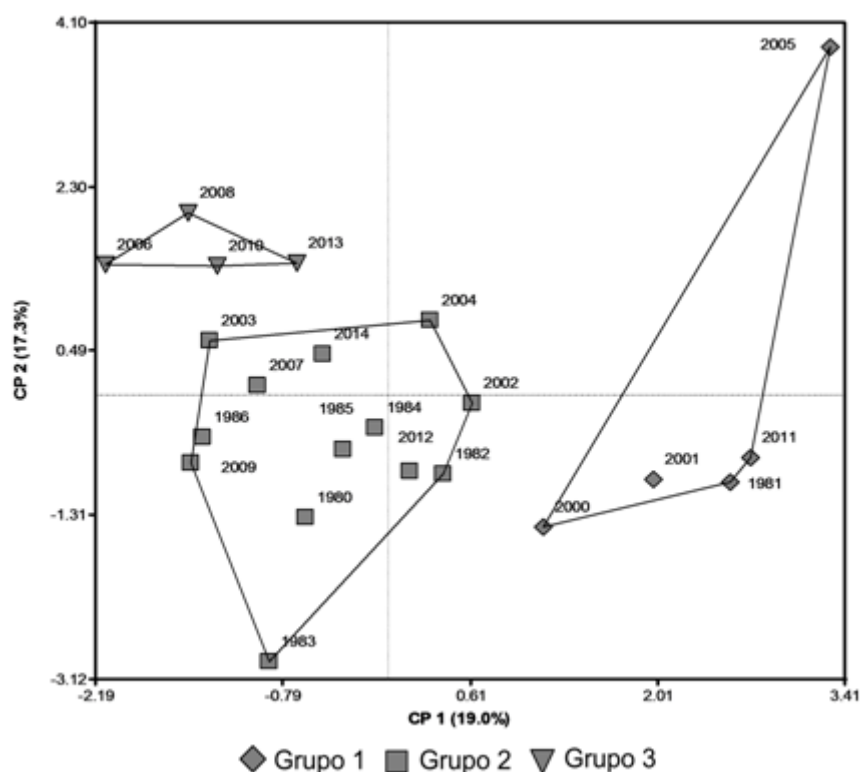


Figura 5. Combinación del análisis de coordenadas principales y análisis de conglomerados para la serie temporal 1980-2014 en El Cuji.

Localidad de Yaritagua

La serie temporal en Yaritagua se divide en tres grupos diferentes ([cuadro 5](#)). Principalmente, las diferencias se encuentran en el primer eje, dado que los valores más altos en este primer eje se corresponden con años más húmedos, los valores alrededor del cero (grupo 2), se corresponden con años moderadamente húmedos (o moderadamente secos) y los valores bajos en este índice se corresponden con años secos ([figura 6](#)).

En esta región el alerta se centra en los sistemas de producción palma africana y caña en la zona de Yaracuy, ya que ellos tienen una baja capacidad adaptativa y, de acuerdo a los escenarios futuros, ellos serán muy afectados por los cambios climáticos. Al igual que la región oriental, los factores determinantes son la condición de monocultivo, media a baja adaptabilidad agroecológica, los altos requerimientos de infraestructura, el bajo nivel tecnológico y las bajas condiciones socioeconómicas existentes en algunos sistemas de producción (INIA, 2016).

Grupo	Años	Característica
Grupo 1	1981, 1982, 1983, 1986, 1998, 2001, 2003, 2005, 2014	Se clasifican como años con altos valores del SPI. Años más húmedos de la serie temporal.
Grupo 2	1980, 1984, 1985, 1987, 1988, 1991, 1992, 1993, 1999, 2000, 2004, 2006	Se clasifican como años con valores intermedios del SPI. Años moderadamente húmedos o secos.
Grupo 3	1989, 1990, 2002, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013	Se clasifican como años con valores bajos del SPI. Años con prevalencia de déficit hídrico en la serie temporal

Cuadro 5. Categorización de los años basada en la similitud de las series mensuales del SPI mediante la combinación de métodos multivariados en Yaritagua.

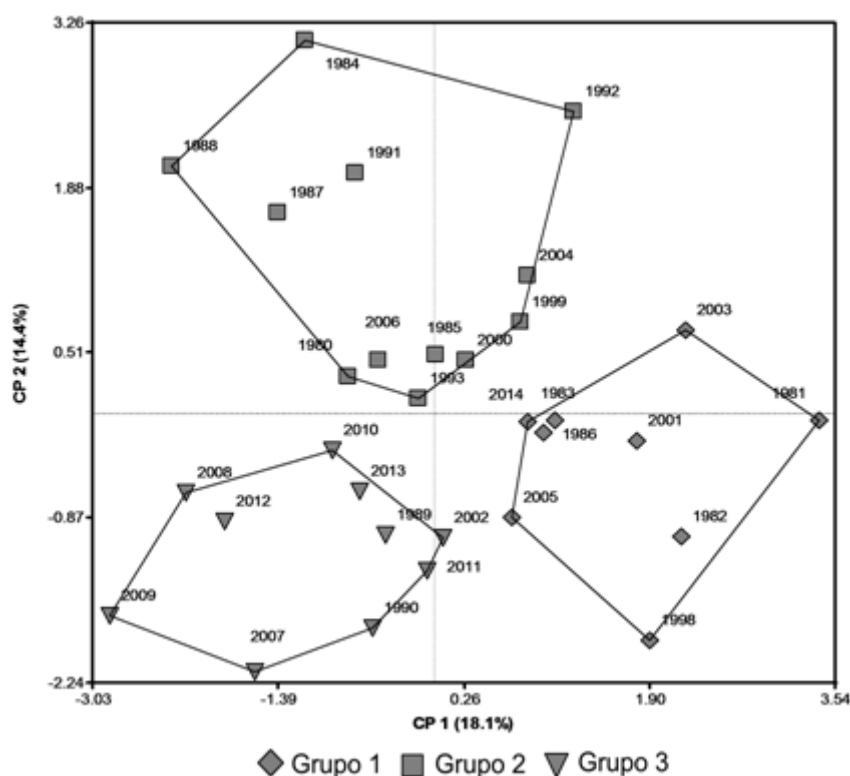


Figura 6. Combinación del análisis de coordenadas principales y análisis de conglomerados para la serie temporal 1980-2014 en Yaritagua.

El estado Yaracuy posee una superficie cosechada de caña de azúcar sin riego de 22.082 ha y un rendimiento de 71.750 kg/ha. Además, los cereales están sembrados en un área de 3.639 ha para el sorgo y 25.270 has para el maíz con unos rendimientos de 2.831 kg/ha y 3.163 kg/ha, respectivamente (MPPAT, 2008). De acuerdo con los aportes de Olivares et al. (2016) tanto en la zona baja de Yaracuy como en la zona media se presentó una reducción de 1200-1600 mm a 800-1200 mm en ciertos años de la serie. Lo anterior afectó los rendimientos de la caña de azúcar y la adaptabilidad de la palma aceitera, que cubre entre 4.000 y 5.000 ha. Así mismo, los cereales que presentan altos rendimientos en la zona se redujeron. Los cultivos más resistentes a la sequía, como frijol (*Phaseolus vulgaris* L) y quinchoncho (*Cajanus cajan* L) no fueron afectados por el déficit hídrico en la zona.

Localidad de Mucuchíes

En el caso de los Andes, se evidencia una disminución de la precipitación de 1200-1600 mm a 800-1200 mm en algunos años de la serie temporal. Los sistemas de producción de café fueron muy afectados por la sequía en la región, seguidos de los moderadamente afectados tales como: cacao, pastos, plantaciones forestales, maíz-leguminosa y, finalmente, las hortalizas fueron poco afectadas.

De acuerdo a los resultados, Mucuchíes se divide en dos grupos ([cuadro 6](#)). El primer eje separa ambos grupos. Los valores negativos de este eje se corresponden con años más secos y los positivos con años más húmedos ([figura 7](#)).

Grupo	Años	Característica
Grupo 1	1980, 1981, 1982, 1983, 1985, 1986, 1988, 1990, 1998, 1999, 2003	Se clasifican como años con altos valores del SPI. Años más húmedos de la serie temporal.
Grupo 2	1984, 1987, 1989, 1991, 1992, 1993, 2000, 2001, 2002, 2004, 2005, 2007, 2008, 2012	Se clasifican como años con valores bajos de los índices. Años con prevalencia de déficit hídrico en la serie temporal

Cuadro 6. Categorización de los años basada en la similitud de las series mensuales del SPI mediante la combinación de métodos multivariados en Mucuchíes.

Durante la actuación del fenómeno "El Niño", la región suramericana y el país se afectan de modo diferente. En Venezuela, El Niño (Episodio Cálido), suele asociarse a sequías y déficit hídrico, al igual que en la mayor parte de América Central y el Caribe particularmente en el segundo semestre del año (Parra et al. 2018).

Para las economías de la región de los andes venezolanos, generalmente en condiciones de gran inestabilidad, estas alteraciones climáticas con frecuencia aumentan el nivel de dificultades y penurias económicas, o en el peor de los casos, tienen efectos catastróficos, por lo que la anticipación de estos eventos tiene gran importancia para disminuir el impacto social y ambiental.

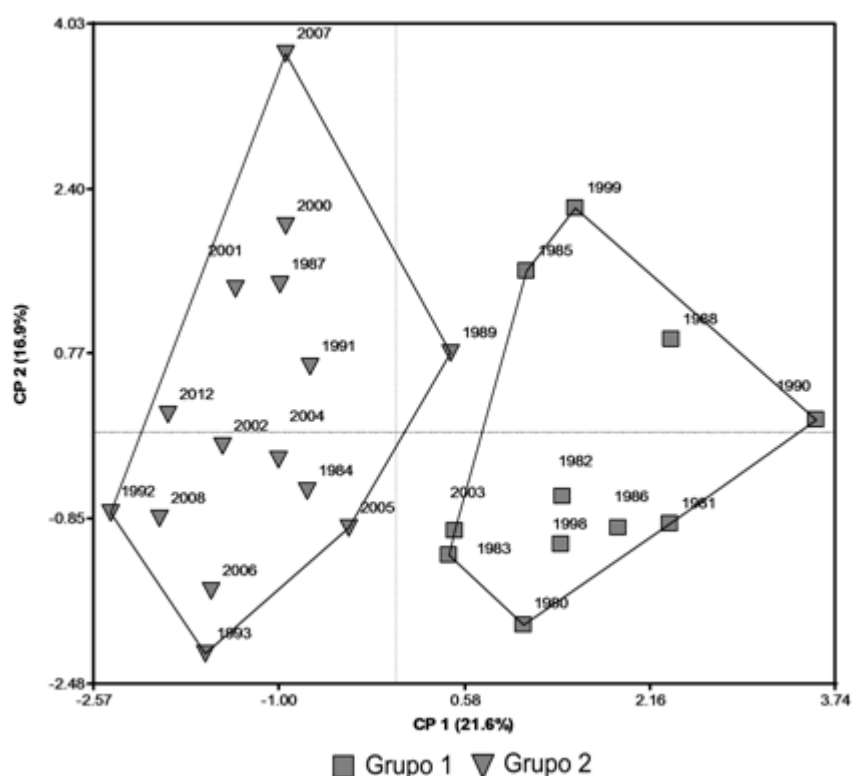


Figura 7. Combinación del análisis de coordenadas principales y análisis de conglomerados para la serie temporal 1980-2014 en Mucuchíes.

La vulnerabilidad a la erosión y riesgos de contaminación de cuerpos de agua son las mayores limitantes para Mucuchíes, donde la conservación de la biodiversidad y de los recursos hídricos es el destino de las áreas de los picos andinos.

Localidad Bramón

El café, la papa y las hortalizas hacia la zona de Bramón en el estado Táchira, manifestaron afectaciones importantes por causa de la sequía, donde el café ocupa el 89% del área cosechada y su rendimiento se ubica alrededor de los 350 kg/ha; por su parte, las hortalizas abarcan el 11% de la superficie cosechada y sus rendimientos van desde 34.957 kg/ha para el repollo hasta 4891 kg/ha para la vainita (MPPAT, 2008). La sequía afectó la productividad de rubros como café, así como la demanda de riego para hortalizas, papa y frutales incidiendo en su rentabilidad.

En Bramón se establecen dos grupos que también se caracterizan por sus diferencias en el primer eje ([cuadro 7](#)). El grupo 1 representa los años más húmedos y el grupo 2 los más secos. Cabe destacar que este último es muy variable internamente. En este grupo, 2010 y 2007, se presentan como valores atípicos, teniendo valores muy altos del índice en noviembre y agosto, respectivamente ([figura 8](#)).

Grupo	Años	Característica
Grupo 1	1981, 1983, 1985, 1986, 1987, 1990, 1991, 1998, 1999, 2000, 2003, 2004, 2005, 2006, 2008, 2009, 2011, 2013	Se clasifican como años con altos valores del SPI. Años más húmedos de la serie temporal.
	1980, 1982, 1984, 1988, 1992, 1993, 2001, 2002, 2007, 2010, 2014	Se clasifican como años con valores bajos de los índices. Años con prevalencia de déficit hídrico en la serie temporal

Cuadro 7. Categorización de los años basada en la similitud de las series mensuales del SPI mediante la combinación de métodos multivariados en Bramón.

Los resultados de la evaluación en forma general indican que los cultivos permanentes sufrieron el mayor grado de afectación en las áreas más impactadas por la sequía meteorológica. Los cambios no parecen ser tan drásticos para el caso de la ganadería y los cultivos anuales; sin embargo, esto no implica que no se requiera de acciones de tipo político, tecnológica, financiera y social para la adaptación de estos rubros a las condiciones climáticas.

Para el año de 2002 se registraría un importante déficit hídrico, que terminó de profundizar la crisis de los embalses que abastecen de agua (a la región central metropolitana) y de energía al país, que se inició en el segundo trimestre del 2001 y se mantuvo durante el período 2002-2003, en el que se registró un evento Niño o cálido profundizándose la situación de escasez y sequía en el primer trimestre del 2003 (Parra et al. 2018).

De acuerdo a la información proporcionada por el estudio de Hernández (2015), Paredes-Trejo y Olivares (2018) se establece que las precipitaciones registradas durante 2014-2015 fueron originadas por el pasaje de las ondas tropicales y, en segundo orden, por una ligera actividad de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT); sin embargo, las lluvias no alcanzaron valores significativos, ubicándose en gran parte del territorio nacional por debajo de los promedios históricos registrados, lo que provocó anomalías negativas de precipitaciones; es decir, déficit acumulado de precipitación desde abril a septiembre de 2015 que produjeron sequías y afectaron los niveles de algunos embalses, citándose: la región Occidental, con los embalses Tres Ríos, Manuelote y Tulé del estado Zulia, Barrancas y Mapará en el estado Falcón; en la región Central el embalse Canoabo del estado Carabobo, los embalses Guárico y Tierra Blanca del estado Guárico.

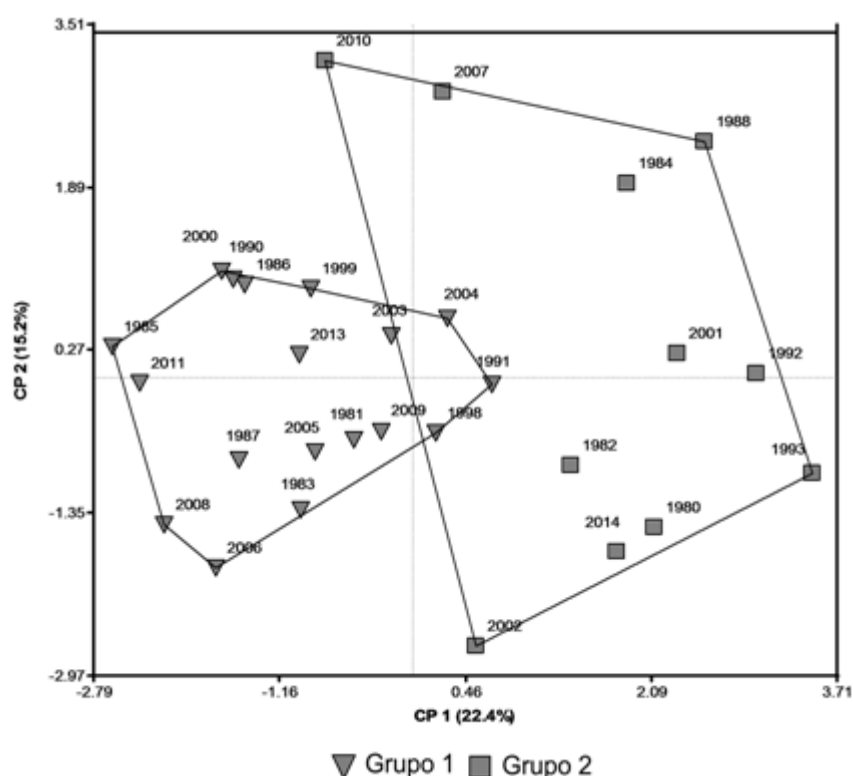


Figura 8. Combinación del análisis de coordenadas principales y análisis de conglomerados para la serie temporal 1980-2014 en Bramón.

De acuerdo con el estudio de cambio climático desarrollado por Ovalles, Cortez, Rodríguez, Rey y Cabrera-Bisbal (2008) se evidencia un futuro más seco, siendo claramente distinguibles las zonas del país en las cuales se produce el mayor impacto sobre las áreas de uso agrícola. En la zona Occidental del país el área con aumento del déficit hídrico aumenta de 3.700.000 ha a 4.500.000 ha; en la región Nor-Centro-Occidental el área con un claro aumento del déficit hídrico crece de 1.000.000 ha a 4.700.000 ha; en la región Nor-Oriental el área crece de 4.600.000 ha a 9.000.000 ha, dentro de esta zona existe un área con un mayor incremento del déficit hídrico que incrementa de 500.000 ha a 1.300.000 ha.

Así mismo, el estudio de MARN (2005) establece que los principales sistemas de producción afectados por el déficit hídrico en la zona de Oriente son: cacao, coco, café, caña, palma africana,

cítricos, hortalizas, yuca, pastos-ganadería, siembras de pinos y agricultura de subsistencia. En la zona Centro-Occidental: cacao, cítricos, maíz, sorgo, arroz, hortalizas, pastos-ganadería, leguminosas, caña azucarera, palma africana y agricultura de subsistencia. En la zona Occidental son: plátano, palma africana, cacao, café, musáceas en general, maíz, papa, hortalizas, pastos-ganadería y plantaciones forestales.

Conclusiones

Este estudio demuestra que las sequías configuran un gran número de patrones en el contexto espacial y temporal, cuya caracterización de forma individual pueden reducirse a unos pocos patrones, empleando las dos técnicas estadísticas en orden sucesivo: i) un análisis de coordenadas principales y ii) un análisis de conglomerados.

La aplicación de estos métodos multivariados permite identificar los patrones espaciales mensuales dominantes que estructura el SPI sobre las localidades estudiadas y que, además, estuvieron relacionados con la ocurrencia de sequías locales de gran importancia desde el punto de vista agrícola.

Adicionalmente, la información climática generada en este estudio resulta esencial en la creación y fortalecimiento de estructuras de un Sistema de Alerta Temprana de la sequía, orientadas a las actividades agrícolas en territorios rurales, donde se proporcionen alertas coordinadas por instituciones nacionales y regionales. Estableciéndose la posibilidad de incrementar los rendimientos de los cultivos y mejorar la situación de seguridad alimentaria del país.

Agradecimientos

El desarrollo de esta investigación fue posible gracias al apoyo de las investigadoras Adriana Cortez, Raquel Parra y Deyanira Lobo por la elaboración de la matriz de datos de lluvia y el cálculo del SPI.

Bibliografía

- Abdi, H., Williams, L. J., Valentin, D. y 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. y Acevedo, M. (2008). Propuesta metodológica para el control de calidad de datos de precipitación. **Agronomía Tropical**, 58 (1), 57-60.

- Borg, I. y Groenen, P. J. (2005). **Modern multidimensional scaling: Theory and applications**. Rotterdam, Netherlands: Springer Science & Business Media.
- Cortez, A., Rodríguez, M.F., Rey, J.C., Ovalles, F., González, W., Parra, R., Olivares, B. y Marquina, J. (2016). Variabilidad espacio temporal de la precipitación en el estado Guárico, Venezuela. **Rev. Fac. Agron (LUZ)**, **33** (3), 292-310.
- Cortez, A., Olivares, B., Parra, R., Lobo, D., Rodríguez, M.F. y Rey, J.C. (2018). Descripción de los eventos de sequía meteorológica en localidades de la cordillera central, Venezuela. **Ciencia, Ingenierías y Aplicaciones**, **1** (1), 22-44.
- Dalgaard, P. (2002). **Introductory Statistics with R**. Nueva York: Springer.
- Di Rienzo, J., Casanoves, F., Balzarini, M., González, L., Tablada, M. y Robledo, C. (2011). **InfoStat versión 2011**. Recuperado de <http://www.infostat.com.ar>
- Haylock, M. R., Hofstra, N., Klein Tank, A. M. G., Klok, E. J., Jones, P. D. y New, M. (2008). A European daily high-resolution gridded dataset of surface temperature and precipitation for 1950–2006. **Journal of Geophysical Research**, **113**, D20119, DOI:10.1029/2008JD010201.
- Hernández, R. (2015). **Caracterización espacial de la sequía meteorológica (SPI) a nivel semestral noviembre 2014 hasta septiembre 2015, para el territorio nacional**. Baruta, Venezuela: INAMEH
- Hernández, R., Pereira, Y., Molina, J.C., Coelho, R., Olivares, B. y Rodríguez, K. (2017). **Calendario de siembra para las zonas agrícolas del estado Carabobo en la República Bolivariana de Venezuela**. Sevilla, España: Editorial Universidad Internacional de Andalucía.
- INIA (Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, Venezuela). (2016). **Aproximación agroecológica para el nuevo modelo de producción agrícola en Venezuela**. Maracay, Venezuela: Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas.
- Jones, B. y Sall, J. (2011). JMP statistical discovery software. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics**, **3**(3), 188-194.
- Kaufman, L. y Rousseeuw, P. J. (2009). **Finding groups in data: an introduction to cluster analysis**. New Jersey, USA: John Wiley & Sons
- Kruskal, J. B. y Wish, M. (1978). **Multidimensional scaling**. California, USA: Sage.
- MARN (Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales, Venezuela). (2005). **Primera Comunicación Nacional en Cambio Climático de Venezuela**. Caracas, Venezuela: PNUD-Fondo Mundial para el Medio Ambiente.
- Mckee, T., Doesken, N. y Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. In Conference on Applied Climatology, (8, 1993, Anaheim, California, USA). American Meteorological Society (eds.). Proceedings. California, USA. AMS. p. 17-22.
- Minasny, B., McBratney, A. y Whelan, B. (2002). **Vesper version 1.6. Australian Centre for Precision Agriculture**. Recuperado de <http://www.usyd.edu.au/su/agric/acpa>
- MPPAT (Ministerio del Poder Popular para la Agricultura y Tierras, Venezuela). (2008). **VII Censo Agrícola Nacional de Venezuela**. Recuperado de <http://censo.mat.gob.ve/>
- Olivares, B. (2017). **La sequía meteorológica en territorios agrícolas de Venezuela: un análisis temporal del fenómeno meteorológico y su impacto en la agricultura venezolana**. Saarbrücken, Alemania: Editorial Académica Española.

- Olivares, B., Cortez, A., Lobo, D., Parra, R., Rey, J. C. y Rodríguez, M. F. (2016a). Estudio de la Sequía Meteorológica en Localidades de los Llanos de Venezuela Mediante el Índice de Precipitación Estandarizado. **Revista Acta Nova**, 7(3), 266-283.
- Olivares, B., Cortez, A., Rodríguez, M.F., Parra, R., Lobo, D. y Rey, J.C. (2016b). Análisis temporal de la sequía meteorológica en localidades semiáridas de Venezuela. **UGCiencia**, 22 (1), 11-24.
- Olivares, B., Cortez, A., Muñetones, A. y Casana, S. (2016). Strategic Elements of Organizational Knowledge Management for Innovation. Case: Agrometeorology Network. **Revista Digital de Investigación en Docencia Universitaria**, 10 (1), 68-81.
- Olivares, B., Zingaretti, M.L., Demey, J.A. y Demey, J.R. (2016). Tipificación de los sistemas de producción agrícola y la percepción de la variabilidad climática en Anzoátegui, Venezuela. **Revista FAVE - Ciencias Agrarias**, 15 (2), 39-50.
- Olivares, B., Cortez, A., Parra, R., Rodríguez, M.F. y Guevara, E. (2013). Aplicación de procedimientos estadísticos para el control de calidad de las series de precipitación mensual de los llanos orientales venezolanos. **Rev. Fac. Agron. (LUZ)**, 30 (3), 367-391.
- Olivares, B., Torrealba, J. y Caraballo, L. (2013). Variability of the precipitation regime in the period 1990-2009 in the location of El Tigre, Anzoátegui state, Venezuela. **Rev. Fac. Agron. (LUZ)**, 30 (1), 19-32.
- Olivares, B., Guevara, E. y Demey, J. (2012). Utilización de bioindicadores climáticos en sistemas de producción agrícola del estado Anzoátegui, Venezuela. **Revista Multiciencias**, 12 (2), 136-145.
- Olivares, B.; Parra, R.; Cortez, A. y Rodríguez, M.F. (2012). Patrones de homogeneidad pluviométrica en estaciones climáticas del estado Anzoátegui, Venezuela. **Revista Multiciencias**, 12 (Extraordinario), 11-17.
- Olivares, B. Parra, R y Cortez, A. (2017). Characterization of precipitation patterns in Anzoátegui state, Venezuela. **Ería**, 3 (3), 353-365.
- Olivares, B., Cortez, A., Parra, R., Lobo, D., Rodríguez, M.F y Rey, J.C. (2017). Evaluation of agricultural vulnerability to drought weather in different locations of Venezuela. **Rev. Fac. Agron. (LUZ)**, 34 (1), 103-129.
- Olivares, B., Zingaretti, M.L., Demey, J.A. y Demey, J.R. (2017). Aplicación del método STATIS-ACT al régimen de lluvias en la Región Oriental Venezolana. **UNED Research Journal**, 9(1), 97-106.
- Olivares, B., Rey, J.C., Lobo, D., Gómez, J.A. y Landa, B. (2019). Impacto del cambio climático en zonas bananeras de la Región Central de Venezuela: El futuro de los bananos en un escenario hídrico incierto. En A.F. Chica Pérez y J. Mérida García. (Eds), **Creando Redes Doctorales: Investiga y Comunica** (pp. 367-370). Córdoba, España: UCOPress. Editorial Universidad de Córdoba.
- Olivares, B. y Zingaretti, ML. (2018). Análisis de la sequía meteorológica en cuatro localidades agrícolas de Venezuela mediante la combinación de métodos multivariados. **UNED Research Journal**, 10 (1), 181-192.
- OMM (Organización Meteorológica Mundial, Suiza). (1990). **On the Statistical Analysis of Series of Observations**. (WMO-No. 415, WMO/TN-No. 143), Ginebra.
- OMM. (2011). **Guía de prácticas climatológicas** (OMM-No 100), Ginebra.

- Ovalles, F., Cortez, A., Rodríguez, M.F., Rey, J.C. y Cabrera-Bisbal, E. (2008). Variación geográfica del impacto del cambio climático en el sector agrícola en Venezuela. ***Agronomía Tropical***, **58** (1), 37 – 40.
- Paredes, F. J., Barbosa, H. y Guevara, E. (2015). Análisis espacial y temporal de las sequías en el nordeste de Brasil. ***Agriscientia***, **32** (1), 1-14.
- Paredes, F., Barbosa, H. A., Ruiz, I.Q. y Peñaloza, M. A. (2016). Meso scale oceanic atmospheric circulation patterns linked with severe and extensive droughts in Venezuela. ***Revista Brasileira de Meteorología***, **31**(4), 468-489. DOI: <https://dx.doi.org/10.1590/0102-778631231420150070>
- Paredes-Trejo, F. y Olivares, B. (2018). El desafío de la sequía en Venezuela. En J. Núñez Cobo. y K. Verbist. (Eds.), ***Atlas de Sequía de América Latina y el Caribe***(pp.127-136). Francia, París: UNESCO.
- Parra, R. y 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.
- Parra, R., Olivares, B., Cortez, A., Lobo, D., Rodríguez, M.F. y Rey, J.C. (2018). Características de la sequía meteorológica (1980-2014) en dos localidades agrícolas de los andes venezolanos. ***Revista de Investigación***, **42**(95), 38-55.
- Puche, M., O. Silva. y R. Warcnok. (2004). ***Evaluación del efecto del cambio climático sobre cultivos anuales en Venezuela***. Maracay, Venezuela: Facultad de Agronomía.
- Rodríguez, M.F., Cortez, A., Olivares, B., Rey, J.C, Parra, R. y Lobo, D. (2013). Análisis espacio temporal de la precipitación del estado Anzoátegui y sus alrededores. ***K***, **63** (1-2), 57-65
- 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.
- Schmitt, P., Mandel, J., y Guedj, M (2015). A Comparison of Six Methods for Missing Data Imputation. ***J Biomet Biostat*** **6**, 224. DOI: [doi:10.4172/2155-6180.1000224](https://doi.org/10.4172/2155-6180.1000224)
- Sensoy, S., Peterson, T. C., Alexander, L. V. y Zhang, X. (2007). Enhancing Middle East climate change monitoring and indice. ***Bulletin Amer. Meteorol. Soc.***, **88**,1249–1254.
- Sevruck, B. (1989). ***Precipitation measurement. Proceedings of the International Workshop on Precipitation Measurement, St. Moritz, Switzerland, 3-7 December, 1989***. Geneva: Institute of Geography, Swiss Federal Institute of Technology, ETH Zurich, WMO/TD-No.32.
- Wilks, D. S. (2002). ***Statistical Methods in the Atmospheric Sciences***. Nueva York: Academic Press.
- Zingaretti, M. L., Demey-Zambrano, J. A., Vicente-Villardón, J. L., y Demey, J. R. (2015). Kimod: A k-tables approach to integrate multiple Omics-Data. R package version 1.0.0.

¹ Investigador. Programa de Doctorado en Ingeniera Agraria, Alimentaria, Forestal y del Desarrollo Rural Sostenible. Universidad de Córdoba (UCO), España. E-mail: barlinolivares@gmail.com

² Docente- investigador. IAPCBA-IAPCH, Universidad Nacional de Villa María, Córdoba, Argentina. E-mail: m.lauzingaretti@gmail.com

Para citar este artículo: Olivares, B. O., Zingaretti, M. (2019). Aplicación de métodos multivariados para la caracterización de periodos de sequía meteorológica en Venezuela. *Revista Luna Azul*, 48, 172-192. DOI: 10.17151/luaz.2019.48.10

Esta obra está bajo una [Licencia de Creative Commons Reconocimiento CC BY](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

