

Patrones de homogeneidad pluviométrica en estaciones climáticas del estado Anzoátegui, Venezuela

Barlin Olivares¹, Raquel Parra², Eunice Guevara¹, Adriana Cortez³
y María F. Rodríguez³

¹Departamento de Agrometeorología, Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas del estado Anzoátegui.

²Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela.

³Investigadores. INIA. Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias (CENIAP). Laboratorio de sistemas de Información en Recursos Agroecológicos. Maracay, estado Aragua

barlinolivares@gmail.com

Resumen

Se presenta una definición de grupos de estaciones con precipitaciones homogéneas en el estado Anzoátegui, usando 24 variables originales, la media y la desviación estándar de la precipitación mensual de las 40 estaciones climáticas ubicadas en el estado, para el periodo 1970-2000, aplicando el análisis de agrupamiento jerárquico y el Análisis por Componentes Principales (ACP). El ACP generó cinco grupos coherentes de precipitación constituidos por estaciones meteorológicas, con un patrón de precipitación específico. El grupo 1 presenta dos períodos, el seco y el lluvioso con régimen de lluvia estacional; el grupo 2, es menos lluvioso que el grupo 1, con un pico entre octubre, noviembre y diciembre; el 3, se caracteriza por presentar picos en los meses de julio y agosto; el 4 es más lluvioso en ambos periodos que el grupo 3; por último, el 5 representa la estación climática con mayor precipitación media anual en la zona.

Palabras clave: precipitación, estación climática, análisis multivariado.

Patterns of Pluviometric Homogeneity at Weather Stations in the State of Anzoátegui, Venezuela

Abstract

A definition of groups of stations with homogeneous precipitation for the state of Anzoátegui is presented using 24 original variables and the mean and standard deviation of monthly precipitation from 40 weather stations located in the state, for the 1970-2000 period, by applying hierarchical cluster and Principal Component Analysis (PCA). The PCA generated five coherent precipitation groups consisting of weather stations with a specific precipitation pattern. Group 1 has two periods, dry and rainy, with a seasonal rainfall regime; group 2 has less rain than group 1, with a peak in October, November and December; group 3, is characterized by peaks in July and August; group 4 has more rain in both periods than group 3; group 5 shows the weather station with the highest average annual rainfall in the area.

Keywords: rainfall, weather station, multivariate analysis.

Introducción

La determinación de áreas homogéneas de precipitación constituye una forma de describir el régimen de precipitación en la zona, siendo útil para la planificación e investigación agrícola. Es por esto que clasificar grupos homogéneos de variación de precipitación es un primer paso en el desarrollo de modelos para predicciones y en estudios de variabilidad, usando escalas amplias de tiempo [3].

Existen diversos métodos de clasificación climática, en los cuales diversos autores [11, 3, 12, 8], coinciden que el Análisis de Componentes Principales (ACP) es una herramienta útil en la climatología porque permite simplificar los datos originales, representándolos en un menor número de variables; las cuales contienen la mayor parte de la información, ampliamente utilizada por profesionales del área meteorológica para la delineación de patrones de las variables climáticas.

El ACP representa una técnica matemática que no requiere un modelo estadístico para aplicar la estructura probabilística de los errores. Este análisis deberá ser aplicado cuando se desea conocer la relación entre elementos de una población y se sospeche que en dicha relación influye de manera desconocida un conjunto de variables o propiedades de los elementos [11].

El ACP es una técnica multivariada que puede ser aplicada a un diverso número de problemas en las ciencias,

siendo de gran utilidad en tareas de diagnóstico o predicción [15]. Este método ha sido aplicado en la determinación de áreas homogéneas de precipitación [3]; en la distribución espacial de la lluvia [1]; en la definición de patrones homogéneos de pluviosidad en los llanos centrales venezolanos mediante kriging factorial [12]; en la aplicación del índice de homogeneidad múltiple a datos climáticos de Venezuela [10] y en la estimación de la variabilidad interna de muestras poblacionales [7].

El análisis espacial de variables climáticas es de suma importancia para poder comprender el comportamiento de fenómenos naturales que varían espacialmente influenciadas por el medio físico que las rodea, es una herramienta de gran utilidad para variadas disciplinas y sirve para tomar decisiones que pueden afectar las actividades humanas.

El objetivo de este trabajo fue determinar la homogeneidad pluviométrica en estaciones climáticas del estado Anzoátegui, mediante el uso del Análisis por Componentes Principales, estableciendo las variables que definen dicha homogeneidad.

Materiales y métodos

Área de estudio

El estado Anzoátegui posee un clima tropical lluvioso (Aw) con vegetación típica de sabana en el sur de Anzoá-

tegui, y de Noroeste del estado se presenta una estrecha franja semiárida (BS), de acuerdo al sistema de clasificación de Köppen [14]. Una característica del sur de Anzoátegui es la marcada estacionalidad de la precipitación, debida a la acción alternada de la zona de convergencia intertropical. El periodo lluvioso concentra más del 85% del total anual de precipitación, mientras que en los meses secos llueve muy poco; es muy frecuente que en los meses de febrero y marzo la lluvia registrada sea de cero milímetros [6]. La data de precipitación mensual se recolectó de 40 estaciones pluviométricas ubicadas en el estado Anzoátegui y estados circunvecinos (Bolívar, Monagas y Sucre) para un periodo de registro de 1970-2000 (Figura 1).

A todas las estaciones se les aplicó las pruebas de control de calidad de datos recomendadas por Parra y Cortez [9] mediante la determinación de datos faltantes, el cálculo de estadística descriptiva, análisis de dispersión y homogeneidad de las series temporales de precipitación.

Análisis estadístico

Se aplicó el análisis de agrupamiento jerárquico, diseñado para revelar las agrupaciones naturales (o los conglomerados o clústeres) dentro de un conjunto de datos. Este análisis comienza separando cada caso en un clúster por sí mismo. En cada etapa del análisis, el criterio por el que los casos son separados se refleja en el orden al enlazar los dos conglomerados más similares hasta que todos

los casos sean agrupados en un árbol de clasificación completo.

Se recurrió al método de mínima varianza de Ward, donde la distancia entre los dos grupos es la suma de los cuadrados de análisis de varianza entre los dos grupos añadidos a lo largo de todas las variables [13]. El método de Ward establece grupos para maximizar la probabilidad en cada nivel de la jerarquía, bajo los supuestos de mezclas normales multivariantes, las matrices de covarianza esférica y la misma probabilidad de muestreo.

El análisis estadístico se realizó mediante el Análisis de Componentes Principales (ACP) descrito por Pla [11]. La matriz de datos X está constituida por el conjunto de vectores de las observaciones $X[ij]$, $j=1, \dots, p$ y donde cada vector $X[ij]$ presenta la variable j -ésima para todas las observaciones y donde X, es la matriz de datos formada por “n” observaciones con “p” variables (40 observaciones con 24 variables).

Con el fin de simplificar y homogeneizar la nomenclatura, las 24 variables definidas en la matriz X se denotaron: precipitación media de enero (ME) y desviación estándar de enero (DE); precipitación media de febrero (MF) y desviación estándar de febrero (DF); precipitación media de marzo (MM) y desviación estándar de marzo (DM); precipitación media de abril (MA) y desviación estándar de abril (DA); precipitación media de mayo (MMY) y desviación estándar de mayo (DMY); precipitación media de

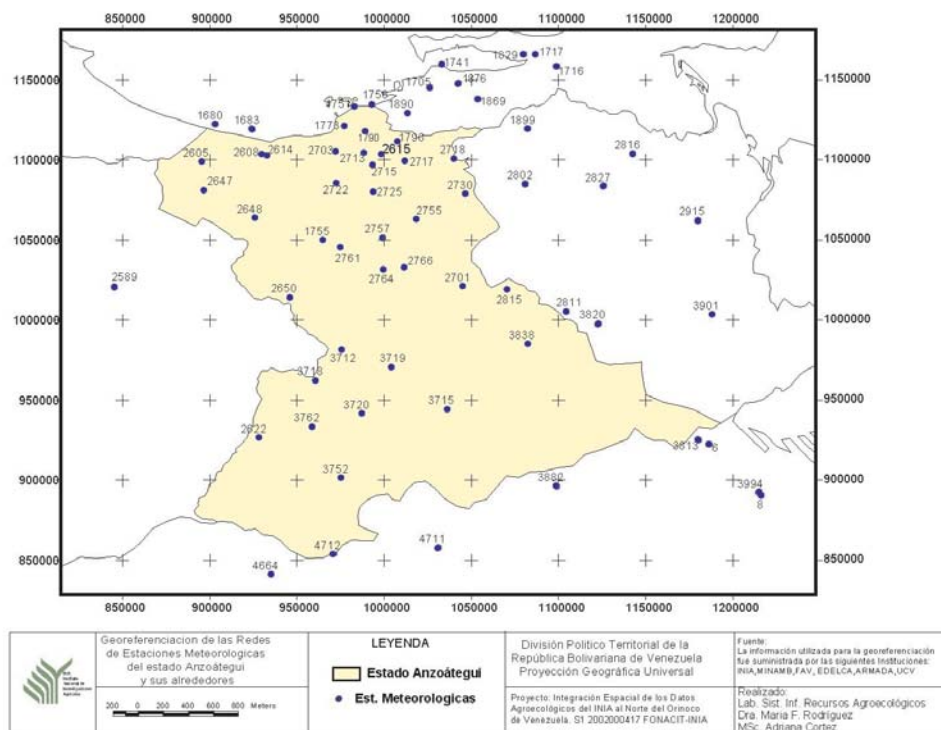


Figura 1. Ubicación de las estaciones climáticas en el estado Anzoátegui y sus alrededores. Fuente: Elaboración propia.

junio (MJ) y desviación estándar de junio (DJ); precipitación media de julio (MJL) y desviación estándar de julio (DJL); precipitación media de agosto (MAG) y desviación estándar de agosto (DAG); precipitación media de septiembre (MS) y desviación estándar de septiembre (DS); precipitación media de octubre (MO) y desviación estándar de octubre (DO); precipitación media de noviembre (MN) y desviación estándar de noviembre (DN); precipitación media de diciembre (MD) y desviación estándar de diciembre (DD).

El paquete estadístico utilizado fue el INFOSTAT versión 9.0 [4], el cual que permitió generar los valores propios y la proporción de la varianza explicada; la matriz de vectores propios de la matriz de transformación calculada vía matriz de correlación; la matriz de correlación entre las variables originales y los componentes principales; la proporción de la variación original explicada por cada componente principal de la matriz de correlación o matriz de determinación. El mismo programa generó el gráfico tipo XY entre el primer y segundo componente principal.

Para seleccionar el número de componentes a incluir se utilizó el criterio de Kaiser, que incluye sólo aquellos cuyos valores propios son superiores al promedio [2]. Como los componentes principales fueron generados vía matriz R, se tomaron en cuenta los componentes cuyos valores propios fueron mayores a 1.

Resultados y discusión

Según el criterio de Kaiser, los valores propios de los cinco primeros Componentes Principales (CP) resultaron superiores al promedio. Estos cinco CP logran explicar el 79,9% de la varianza total, el cual es considerado como un porcentaje significativamente alto, el resto de los 19 componentes sólo explican el 21,10% de la variación existente (Figura 2).

De acuerdo al análisis, los valores propios más altos se presentan en los CP1, CP2, CP3, CP4 y CP5 lo cual coincide con la mayor proporción de la varianza absoluta y acumulada. El primer componente explica el 41,3% del total de la varianza; el segundo componente principal un 17,3%; el tercer componente principal un 10,0%, el cuarto componente un 7,1% y el quinto componente representa el 4,2% para acumular un 79,9% en total de variabilidad explicada.

Para determinar las variables de cada uno de estos componentes seleccionados que explican la variabilidad de cada componente, se tomaron en cuenta solamente aquellos cuyo coeficiente con la matriz de transformación tenían un valor igual o superior a 0,30 [3].

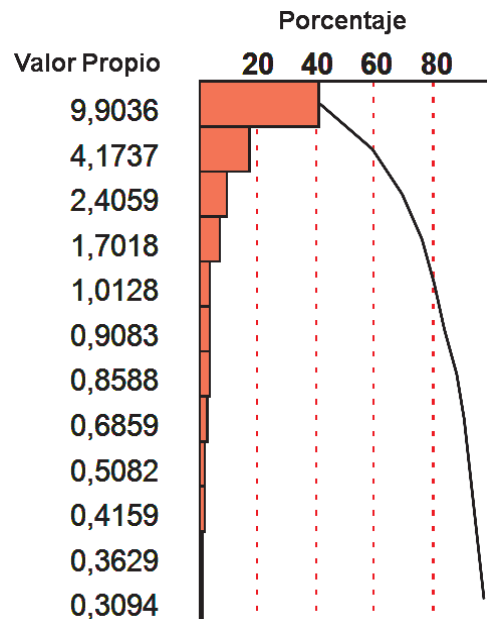


Figura 2. Valores propios y proporción de la varianza explicada calculada a partir de la matriz de correlación.

Descripción de los componentes principales

El primer componente es el que presentó la varianza más alta, por lo tanto la mayor capacidad explicativa de los datos, 41,3% del total. Se observaron valores positivos en proporciones superiores al 0,30 de los promedios de los meses de mayo, julio y agosto y la desviación del mes de mayo, variables que reflejan un pico lluvioso en el verano astronómico producto de la convergencia intertropical en la región de los llanos venezolanos. Dichos resultados se pueden interpretar como el de un componente 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. Según Demey *et al.* [3] las estaciones con valores más altos de este componente son las que definen el patrón de precipitación, siendo este aspecto importante en la ponderación de grupos homogéneos.

El segundo componente explicó el 17,3% de la variabilidad total. Está relacionado con los promedios de los meses enero, noviembre, diciembre y a la desviación del mes de diciembre, variables que reflejan un pico lluvioso a finales del año. Este componente está asociado con aquellos puestos pluviométricos que tienen altos promedios de lluvia en los meses de noviembre y diciembre.

Por su parte el tercer componente, explicó el 10,0% de la varianza total. Tiene que ver con la desviación estándar del mes de marzo, noviembre y diciembre. Este grupo de estaciones posee una dispersión no despreciable para es-

tos meses y probablemente importante, en la oportunidad de realizar las labores agrícolas, tales como preparación de suelos, siembra, aplicación de abonos y enmiendas y la cosecha, en la zona de estudio.

Así mismo, un 7,1% del total de la varianza es explicado por el cuarto componente. Éste se relaciona con el promedio y la desviación estándar de abril cuyos valores absolutos son superiores al 30%.

El quinto componente, explica el 4,2% de la variabilidad total, éste tiene que ver con la desviación estándar de los meses de marzo y octubre. Este último componente está asociado con aquellos puestos pluviométricos que tienen altos promedios de lluvia en los meses secos con una dispersión no despreciable para los meses indicados.

La Figura 3 muestra el dendrograma obtenido según el método de mínima varianza de Ward. En ella se observa el establecimiento de cinco grupos de estaciones con patrones homogéneos de precipitación.

De la revisión de la matriz de correlación entre las variables originales y los componentes principales se genera la Figura 4, la cual destaca que las variables más significativas en cada caso se ubican más cerca del círculo de radio 1 (uno), es decir, las más asociadas al componente estarán más cerca de la unidad.

En este sentido, la distribución geográfica de las estaciones utilizando los componentes principales puede ser debida a los factores que influyen la distribución de las lluvias descritos por Mallants y Feyen [5]. De acuerdo con lo expuesto, se establece que el ACP es sensible a los efectos orográficos, tomando en cuenta el efecto relieve y la topografía según Demey *et al.* [3].

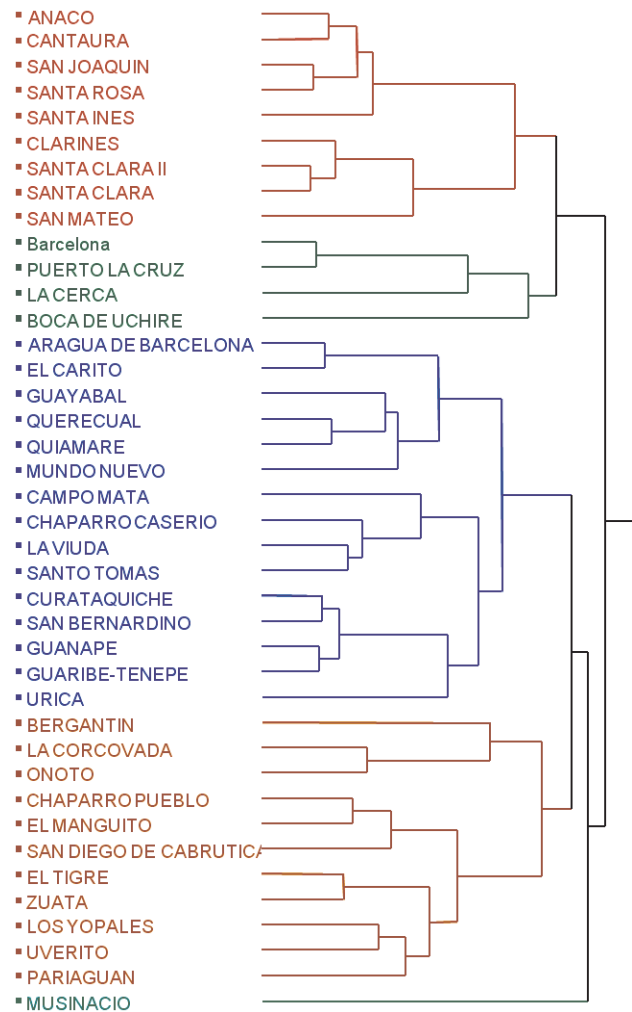


Figura 3. Dendrograma según el método de Ward.

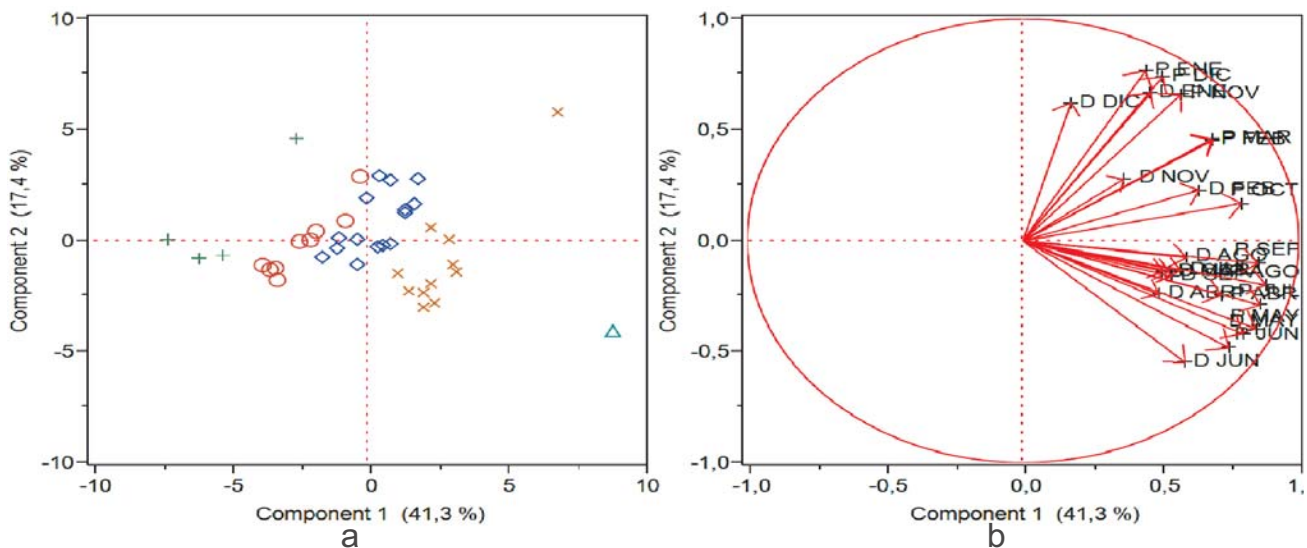


Figura 4. (a) Representación bivariada de los resultados de los 40 puestos pluviométricos con los dos primeros componentes; los colores asociados a los símbolos representan los grupos de estaciones climáticas con patrones homogéneos de precipitación; (b) Correlación entre variables originales con el primer y segundo componente principal.

Cuadro 1. Características de los grupos homogéneos de patrones de precipitación en el estado Anzoátegui, Venezuela.

Grupo	Patrón de precipitación	Ubicación	Estaciones
1	Húmedo la mayor parte del año, desde abril-mayo hasta noviembre-diciembre con pico en julio y agosto.	Al noreste del estado. Comprende las planicies lacustrinas y de posición baja	Anaco, Cantaura, San Joaquín, Santa Rosa, Santa Ines, Clarines, Santa Clara, Santa Clara II y San Mateo
2	Es el grupo más seco de todos, tendiendo a un período húmedo a finales de año.	Al norte del estado, comprende parte de la zona costera, con paisajes de colinas.	Barcelona, Puerto La Cruz, La Cerca y Boca de Uchire
3	Tiende a ser más marcada la diferencia entre los períodos lluviosos de abril-octubre y seco de noviembre-marzo.	Al noroeste del estado, con unidades de paisajes comprendidas entre planicies, altiplanicies y colinas.	Aragua de Barcelona, El Carito, Guayabal, Querecual, Quiamare, Mundo Nuevo, Campo Mata, Chaparro Caserío, La Viuda, Santo Tomás, Curataquiche, San Bernardino, Guanape, Guaribe-Tenepe y Úrica
4	Húmedo durante el periodo de mayo-octubre, con valores máximos de precipitación en el mes de agosto y un periodo seco muy marcado el resto del año.	Al sur del estado, caracterizado por paisajes tipo planicies lacustrinas.	Bergantín, La Corcovada, Onoto, Chaparro Pueblo, El Manguito, San Diego de Cabrutica, El Tigre, Zuata, Los Yopales, Uverito y Pariaguán
5	Húmedo de octubre a diciembre. Enero, febrero y marzo tienden a ser secos. Los montos de lluvia mensual superan a los promedios de los grupos anteriores.	Al suroeste del estado, caracterizado por paisajes de planicies.	Musinacio

Fuente: elaboración propia.

Básicamente, se observó la composición y distribución de los grupos y estaciones de los cinco grupos generados por el ACP, mediante el análisis cuantitativo, basado en los promedios y desviaciones estándar mensuales, para un período continuo de registros de 31 años. El Cuadro 1 resume los cinco grupos de estaciones y características de los patrones de precipitación, observándose que la relación entre CP1 y CP2 fue la que definió y produjo la caracterización general de los grupos.

Conclusiones

Se determinó que el Análisis de Componentes Principales es una herramienta práctica y útil para establecer las relaciones entre diferentes estaciones climáticas; permitiendo en un sentido muy amplio la obtención de una mayor comprensión de la relación entre las diferentes variables a lo largo del año. De esta manera, el análisis desarrollado en este estudio puede contribuir a delinear regiones que muestren patrones semejantes de precipitación.

Se determinó que existen cinco grupos de estaciones climáticas con patrones de precipitación homogéneas en el estado Anzoátegui asociadas a las unidades de paisajes características de la región oriental. Este estudio representa una caracterización del régimen de humedad de la región que

podría ser utilizado en la planificación agrícola a largo plazo y para posibles estudios de variabilidad espacial y temporal de la precipitación en los llanos orientales.

Referencias

- [1] DEMEY, Jhonny; PRADERE Rebeca (1996). Generación de isohietas de precipitación al Sur del estado Aragua-Venezuela usando Kriging con tendencia externa. *Agron. Trop. Venezuela*. 46 (3): 313-333.
- [2] DEMEY, Jhonny; ADAMS, Melitón; FREITES, Hilda (1994). Uso del método de análisis de componentes principales para la caracterización de fincas agropecuarias. *Agron. Trop. Venezuela*. 44(3): 475-497.
- [3] DEMEY, Jhonny; PRADA, Yelitza; PLA, Laura (1995). Grupo de estaciones con patrones homogéneos de precipitación del estado Falcón-Venezuela. *Agron. Trop. Venezuela*. 45(1): 95-120.
- [4] INFOSTAT (2008). Infostat for Windows Version 9.0. Grupo Infostat. Inc. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad Nacional de Córdoba. Argentina.
- [5] MALLANTS, Dirk; FEYEN, Jan (1990). Defining homogeneous precipitation regions by means of principal component analysis. *J. Appl. Meteorol.* 29:892-901.
- [6] MARTELO, María Teresa (2004). Consecuencias ambientales generales del cambio climático en Venezuela, Trabajo de ascenso, Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía, Maracay, Venezuela. 172 p.

- [7] NÚÑEZ, Carlos; BARRIENTOS, Alejandro (2006). Estimación de la variabilidad interna de muestras poblacionales, mediante análisis de componentes principales. **Interciencia** 31 (11): 802-806. (Documento en línea) Disponible en URL: <http://redalyc.uaemex.mx/pdf/339/33912208.pdf> [consulta: 2013, febrero 26].
- [8] OLGUÍN, Gabriela; HOTAIT, Natalia; SUSTAITA, Fudencio (2011). Identificación de regiones hidrológicas homogéneas mediante análisis multivariado. **Rev. Ingeniería Invest. y Tecnol.** 12 (3): 277-284. (Documento en línea). Disponible en URL: <http://redalyc.uaemex.mx/pdf/404/40420773004.pdf> [consulta: 2012, julio 10].
- [9] PARRA, Raquel; CORTEZ, Adriana (2005). Control de calidad de series de precipitación de las series de precipitación del INIA Venezuela en el periodo 1970-2000. **Rev. Arg. de Agrometeorol.** (5-6): 63-73.
- [10] PINEDA, Neida; JAIMES, Edgar; MENDOZA, José (2006). Aplicación del índice de homogeneidad múltiple a datos climatológicos de Venezuela. **Interciencia** 31 (11): 817-821. (Documento en línea) Disponible en URL: <http://redalyc.uaemex.mx/pdf/339/33912210.pdf> [consulta: 2013, febrero 26].
- [11] PLA, Laura (1986). **Análisis multivariado: método de componentes principales**. Departamento de asuntos científicos y tecnológicos. Organización de Estados Americanos. Washington, D.C. EE.UU. 97 p.
- [12] PRADERE, Rebeca (1999). Definición de patrones homogéneos de pluviosidad en los llanos centrales venezolanos mediante kriging factorial. **Agron. Trop. Venezuela.** 49(3):297-325.
- [13] SAS Institute Inc. (2010). **JMP 9 Modeling and Multivariate Methods**. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- [14] STRAHLER, Arthur; STRAHLER, Alan (1989). **Geografía Física**. España: Editorial Omega S.A. Tercera Edición.
- [15] ZAMBRANO, Asia Yusel; DEMEY, Jhonny; GONZÁLEZ, Ventura (1995). Grupos homogéneos de crecimiento y manipulación in vitro de seis cultivares comerciales de caña de azúcar en Venezuela. **Agron. Trop. Venezuela.** 45(1): 51-72.
-