



APLICACIÓN DEL ANÁLISIS FACTORIAL PARA DISCRIMINAR ESPACIALMENTE VARIABLES GEOGRAFICAS

Arnobio Germán Poblete¹
Juan Leonidas Minetti²
María José Vera³

(Manuscrito recibido el 30 de enero de 2017, en versión final 27 de noviembre de 2017)

Para citar este documento

Poblete, A.G., Minetti, J.L., Vera, M.J.. (2017). Aplicación del análisis factorial para discriminar espacialmente variables geográficas. *Boletín geográfico*, 39, 35-52.

Resumen

Este trabajo tiene el propósito de mostrar la eficacia del Análisis Factorial en la investigación geográfica, explicando cómo discriminar espacialmente a una variable geográfica cualquiera, que en este caso; es la precipitación anual en la República Argentina y Chile, teniendo en cuenta su variabilidad interanual. Esta tarea se realizó aplicando dicha metodología multivariante, dada su reconocida validez para encontrar las estructuras subyacentes en un elevado número de variables.

La discriminación espacial de una variable, resulta importante para analizar los procesos en ella involucrados, teniendo en cuenta áreas homogéneas desde el punto de vista de su distribución geográfica y su génesis. Comprendido el comportamiento de dichas áreas uniformes, el geógrafo puede realizar una adecuada planificación de ese escenario.

El propósito adicional de esta indagación es brindar un aporte para la comprensión del régimen de la variabilidad interanual de las precipitaciones en el territorio argentino y chileno analizadas desde un punto de vista areal.

¹ Instituto de Geografía aplicada de la UNSJ. - San Juan. Argentina.. e-mail: agpoblete@gmail.com

² Universidad Nacional de Tucumán- CONICET- S.M. de Tucumán e-mail: minettit@arnet.com.ar

³ Universidad Nacional de San Juan. San Juan. Argentina. e-mail: mariajosevera@gmail.com

Con la aplicación de esta metodología se identificaron ocho dominios con uniformidad espacial en la variabilidad de la precipitación media anual, a partir de igual número de factores, que llegan a explicar el 61% de la varianza. El criterio adoptado en la retención definitiva de esos ocho factores, es que siguen un patrón de homogeneidad territorial, puesto que condensan con bastante discriminación espacial la información contenida en las noventa y cinco variables originales.

Palabras claves: Análisis Factorial, precipitaciones, discriminación espacio-temporal.

APPLICATION OF THE FACTORIAL ANALYSIS TO SPECIALLY DISCRIMINATE GEOGRAPHIC VARIABLES

Abstract

This work aims to show the effectiveness of Factor Analysis in geographic research, explaining how to discriminate spatially to any geographic variable, which in this case; Is the precipitation in the Argentine Republic and Chile, taking into account its interannual variability, This task was carried out applying this multivariate methodology, given its recognized validity to find the underlying structures in a high number of variables.

The spatial discrimination of a variable is important to analyze the processes involved, taking into account homogeneous areas from the point of view of its geographical distribution and its genesis, Understanding the behavior of such uniform areas, the geographer can perform an adequate planning of that scenario.

The additional purpose of this investigation is to provide a contribution to the understanding of the regime of the interannual variability of rainfall in the Argentinean and Chilean territory analyzed from a sandy point of view.

With the application of this methodology, eight domains with spatial uniformity were identified in the variability of the mean annual precipitation, from the same number of factors, which explain 61% of the variance. The criterion adopted in the definitive retention of these eight factors is that they follow a pattern of territorial homogeneity, since they condense with enough spatial discrimination the information contained in the ninety-five original variables.

Keywords: Factorial analysis, precipitation, spatial-temporal discrimination.

Introducción

Dadas las falencias de metodologías objetivas en muchos de los trabajos geográficos que se publican en diversas revistas, resulta importante mostrar la implementación de herramientas estadísticas vigentes dando énfasis a su precisión y versatilidad para ser aplicadas en los distintos campos de la geografía tales como: climatología, hidrografía, geografía económica, humana, médica, de ordenamiento territorial, de riesgos y peligros ambientales, entre otras.

En ese marco el propósito de este artículo es demostrar la eficacia del Análisis Factorial en la investigación geográfica, desarrollando los pasos metodológicos capaces de discriminar espacialmente el comportamiento de cualquier variable. Para lograrlo, se estudió la variabilidad espacio-temporal de las precipitaciones de Argentina y Chile.

Esta tarea se realizó aplicando dicha metodología multivariante, que se ha convertido en una de las herramientas más utilizadas en la Geografía actual, dada su reconocida vigencia para encontrar las estructuras subyacentes en un elevado número de variables.

Es importante la comprensión del régimen de variabilidad interanual de las precipitaciones de los países citados analizada desde un punto de vista areal, puesto que la discriminación espacial de una variable cualquiera resulta fundamental para analizar los procesos climáticos en ella involucrados, teniendo en cuenta áreas homogéneas desde el punto de vista de su distribución geográfica y su génesis. Conocer la variabilidad interanual de las precipitaciones es imprescindible para comprender los procesos de déficit (sequía) o superávit de humedad desde un punto de vista dinámico apoyado en un enfoque geográfico, Bruniard (1989).

Logrado lo anterior se pueden determinar dominios homogéneos con aportes de agua que responden a procesos atmosféricos próximos y/o lejanos (teleconexiones), identificando las condiciones de borde asociadas a cada dominio individualizado permitiendo hacer inferencias sobre su posible comportamiento futuro en el escenario del Cambio Climático Global.

Comprendido el régimen de precipitaciones sobre áreas uniformes, se puede realizar una adecuada planificación hídrica con fines agropecuarios, obras hidráulicas, turismo y otras,

Varios han sido los intentos para discriminar espacialmente a las precipitaciones en la República Argentina. Los cambios en las precipitaciones durante largos periodos han sido estudiados, entre otros, por Hoffmann (1988), Barros y Moyra (1996) y Minetti y Vargas (1998), que han investigado, preferentemente, las tendencias y saltos en la precipitación media anual.

Para estudiar la variabilidad interanual de la lluvia es importante conocer el efecto que sobre ella producen algunos forzantes de gran escala y su influencia sobre la precipitación especialmente en el Sur de Sudamérica.

El régimen de precipitación del Cono Sur depende principalmente del estado térmico de los océanos de Sudamérica, del paso desde el Océano Pacífico hacia el Este de sistemas frontales, depresiones desprendidas del cinturón antártico en superficie; vaguadas y bajas segregadas en altura, resultantes de factores de mayor

escala, que por orden de importancia son: las SST (Temperaturas Superficiales del Mar) en el área “Niño 3+4”, ASPSO (Intensidad del Anticiclón Subtropical del Pacífico Sur Oriental), la PDO (Oscilación Decadal Pacífica), LSAP (Posición Latitudinal del Anticiclón Subtropical del Pacífico Sur) (Poblete, 2013) los Vientos Persistentes del Oeste (Westerlies), PCBA (la Presión en el Centro de Argentina), FSB (Fluctuación Subtropical Bidecadal), IT (Gradiente de Presión Transcordillerano) y otros de menor significación. (Poblete, et al., 2013), Dipolo de Océano Indico (IOD) (Saji, Goswami, Vinayachandran & Yamagata, 1999) que lo vinculan con la precipitación y los mecanismos de propagación de ondas de Rossby (Chan, Behera y Yagamata, 2008). Otro forzante que tiene influencia es la Oscilación Antártica (AAO), (Thompson & Wallace, 2000), (Reboita, Ambrizzi & Da Rocha, 2009) que la vincularon con la función frontogenética durante sus distintas fases y estaciones del año, Encontraron que dicha función es intensa durante la fase negativa y que la trayectoria de los ciclones se desplaza hacia el Sur durante la fase positiva de la AAO, (Silvestri, 2003); y otros de menor significación, Constituyendo todos, según su concatenación y feedback, las condiciones de borde que se estudiarán en profundidad en otro artículo.



Figura 1: Ubicación de las localidades con datos listadas en la Tabla 1.

N	Localidad	N	Localidad	N	Localidad	N	Localidad
1	Embarcación	25	Sgo, De Chile	49	Bernasconi	73	Las Cejas
2	Rosario De La Frontera	26	Valdivia	50	Catrilo	74	La Cocha
3	J,V, Gonzalez	27	Villa Reynolds	51	Gral, Pico	75	Leales
4	Las Lajas	28	San Luis	52	Guatreche	76	S, Miguel De Tucumán
5	Metan	29	Concordia	53	Macachin	77	Las Trancas
6	Rivadavia	30	Guatreche	54	Santa Rosa	78	Ushuaia
7	Salta	31	Parana	55	Rancul	79	Comodoro Rivadavia
8	Tartagal	32	Chepes	56	Santa Isabel	80	Esquel
9	Tres Arroyos	33	La Rioja	57	Victorica	81	Trelew
10	Bahia Blanca	34	Bandera	58	Mendoza	82	Bariloche
11	Bolivar	35	Frias	59	Rafaela	83	Rio Colorado
12	Tandil	36	Rio Gallegos	60	Montecarlo	84	Córdoba
13	Dolores	37	Ojo De Agua	61	Posadas	85	Villa Dolores
14	Las Flores	38	Pozo Hondo	62	Formosa	86	Laboulaye
15	Mar Del Plata	39	Quimili	63	Las Lomitas	87	Marcos Juarez
16	Junín	40	Sgo, Del Estero	64	Neuquén	88	Pilar
17	Carmen De Patagones	41	Añatuya	65	Corrientes	89	Rio Cuarto
18	Pehuajo	42	Villa Angela	66	Goya	90	Jujuy
19	Cnl, Suarez	43	Las Breñas	67	Paso De Los Libres	91	Ledesma
20	Azul	44	Gancedo	68	Bella Vista	92	La Esperanza
21	Punta Arenas	45	Saenz Peña	69	Rafaela	93	Perico
22	Buenos Aires	46	San Juan	70	Rosario	94	Quimili
23	Concepción	47	Catamarca	71	Ceres	95	Campo Gallo
24	Puerto Montt	48	Gral Acha	72	Concepción		

Tabla 1 Identificación de las localidades analizadas en el trabajo.

Metodología

Para realizar este estudio se tomó como base de datos a los registros aportados principalmente por el Laboratorio de Climatología de la Fundación Caldenius, sede NOAA, que sistematizó los registros originales provistos por el Servicio Meteorológico Nacional de Argentina y Chile y por la agencia de Recursos Hidrológicos de Santiago del Estero -Argentina-.

A los fines de la comparabilidad multivariante, el lapso de tiempo elegido, tomado como “periodo agrícola”; fue el de 1931-1932 hasta 1998-1999, computado entre julio del año t hasta junio del año $t+1$, Este periodo cubre el salto climático observado durante las décadas de 1950-1960 en el Este de Los Andes del Cono Sur sudamericano, Minetti (2001).

La Figura 1 muestra la ubicación de las noventa y cinco localidades en donde se registraron los datos utilizados en este trabajo, y en la tabla 1 su correspondiente identificación.

El método multivariante empleado es el Análisis Factorial que no existe como una técnica, sino varias de ellas. Lo que las une y da coherencia es su finalidad: *encontrar estructuras subyacentes en un conjunto de datos.*

Bajo la aparente diversidad de muchos fenómenos de la realidad geográfica yacen principios de acción que dan cuenta de ellos, son dimensiones que se articulan bajo los datos observados y que permiten explicarlos. El nombre de la técnica deriva de ese hecho, ya que a cada principio o dimensión latente se le denomina *factor*, Johnson y Wichern (1995).

Genéricamente, el Análisis Factorial es un conjunto de procedimientos matemáticos diseñados para analizar interrelaciones entre variables (modo-R) o entre objetos (modo-Q), a través de la obtención por cálculo de un menor número de nuevas variables (factores o componentes), que representan una combinación lineal de las características u objetos originales y que contienen esencialmente la misma información que las reales, Morrison (1982), Grupo Chadule (1980).

En el Análisis Factorial las nuevas variables compuestas se llaman factores y en lugar de explicar todos los datos (como en el Análisis de Componentes Principales -ACP-), parte de la suposición de que un determinado número de factores ajustan los mismos de manera óptima, Joereskog (1976).

Sean p variables (X_i) agrupadas en la matriz:

$$X = [X_1, X_2, \dots, X_p] \quad (1)$$

$$\bar{R} = \frac{Z' \cdot \bar{Z}}{n-1} \quad (2)$$

Si se parte de los componentes principales se tiene:

$$Y = E' X \quad (4)$$

Con Y (matriz de componentes principales, E' matriz de eigenvectores transpuesta:

$$E = \begin{bmatrix} e_{11} & e_{12} & e_{1p} \\ & \ddots & e_{ip} \\ & & e_{pp} \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$\Lambda = \begin{bmatrix} \lambda_1 & & \\ & \ddots & \\ & & \lambda_n \end{bmatrix} \quad (6)$$

Donde Λ son sus eigenvalores

La varianza total del sistema se calcula sumando los eigenvalores (λ_i), obtenidos de la matriz de correlación o de covarianza de las variables originales: La contribución de cada componente o factor, en la explicación de la varianza es:

$$VAR (F_i) = \frac{\lambda_i}{\sum \lambda} \quad (7)$$

Con F_i factor i , λ_i : eigenvalor del factor i

Al coeficiente de correlación entre una variable y un componente o factor se lo llama *saturación, carga o "carga"* de la variable en el mismo.

$$loading = r(F_i, Z_j) = \hat{e}_{ij} \sqrt{\hat{\lambda}_i} \quad (8)$$

El modelo de factores postula que X se relaciona en forma lineal con unas pocas variables no observables F_1, F_2, \dots, F_m , llamadas factores comunes, y p fuentes adicionales de variación $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_p$ denominadas factores específicos:

$$X - \mu = LF + E \quad (9)$$

Con E : Matriz de factores específicos

Sea L , la matriz de pesos de los factores, que como en el ACP, muestra la relación entre las variables originales y las nuevas (factores). En la misma, los elementos de cada columna, representan el "aporte" de cada variable en el factor, pues expresan la correlación entre la variable i y el factor j (esto ayuda a darle un significado físico o humano a las nuevas variables).

También se verifica que
$$\sum_{i=1}^n l_{ij}^2 = \lambda_j \quad \text{para } j = 1 \dots k \quad (10)$$

Con l_{ij}^2 : Carga al cuadrado en la posición ij de matriz L

Una fila de la matriz de carga, muestra como la varianza de una variable se distribuye entre los factores. Comparando estas filas es posible el análisis de las interrelaciones entre las variables en juego.

La suma de los cuadrados de los elementos de una fila de la matriz de carga L es la expresión de la varianza total de una variable representada por los k factores comunes, A esta fracción de varianza se la llama **VARIANZA COMÚN** (o bien, comunalidad o "communalty" = h_i^2) y constituye la medida de la eficiencia de los k factores para representar cada variable, (Aquí se estima sí los k factores fueron bien o mal elegidos,) Esta comunalidad tiene la forma:

$$h_i^2 = \sum_{j=i}^k l_{ij} \quad \text{Con } i = 1, \dots, v \quad (11)$$

El número de factores a retener depende de cuanta información sinteticen de acuerdo al objetivo que se planteó el investigador. Por lo general, es una decisión arbitraria (Jennrich & Robinson, 1969). Sin embargo hay algunas pautas que normalmente se usan en la práctica, y parecen tener resultados más objetivos: el criterio de Kaiser, el método gráfico propuesto por Cattell (1966) entre otros.

Sin embargo, en la práctica, el criterio dominante es que ese número de factores retenidos obtengan una solución interpretable del problema planteado. Por consiguiente, se deben examinar varias soluciones con más o menos factores, y se escoge la que tenga un mayor sentido, en caso de no obtener el mismo, se debe descartar el uso del análisis factorial.

Como no siempre la carga específica claramente que variables están mejor asociadas a que factores, es necesario identificar con mayor nitidez a las mismas, esto es lo que buscan los métodos de rotación de los factores.

Se han propuesto varias estrategias rotatorias con el objeto de obtener un modelo claro de cargas o carga, es decir, factores que se identifican notoriamente por las cargas altas para algunas variables y por las bajas para otros. Las rotaciones más típicas son: varimax, biquartimax, quartimax, promax y equamax.

En este trabajo, se aplica la rotación Varimax: que se basa en encontrar una nueva posición de los factores mediante una rotación rígida de los mismos, de modo que el peso de cada uno de ellos tienda a uno o a cero, Tatsouda (1971).

Para completar la interpretación, las nuevas variables deben funcionar como las originales, o sea que se tienen que expresar en la dimensión de los datos iniciales, Esto se logra calculando los “*scorers estandarizados*”, también llamados “*calificaciones*” o “*puntajes*”, de la siguiente manera:

$$scores_{ik} = \sum_{i=1}^p Z_{ij} L_{jk} \quad (12)$$

Resultado y discusión

Se aplica la metodología expuesta a las precipitaciones de la República Argentina y Chile, para detectar el comportamiento temporal de su variabilidad interanual.

Debido a la gran cantidad de localidades con datos (noventa y cinco), se realiza un análisis de factores principales (AFP), con el objeto de encontrar la estructura subyacente dentro de esa información.

Factores	Eigenvalores	% de Varianza	%Var. acumulada
1	25,82	27,18	27,18
2	7,80	8,21	35,39
3	5,97	6,28	41,68
4	4,73	4,98	46,66
5	3,87	4,08	50,73
6	3,69	3,88	54,62
7	2,73	2,87	57,49
8	2,65	2,79	60,28
9	2,43	2,56	62,83
10	2,33	2,45	65,28
11	2,05	2,16	67,44
12	1,90	2,01	69,45
13	1,83	1,93	71,38
14	1,67	1,75	73,13
15	1,58	1,66	74,79
16	1,41	1,48	76,27
17	1,38	1,45	77,72
18	1,30	1,37	79,09
19	1,27	1,33	80,43
20	1,15	1,21	81,64
21	1,11	1,17	82,80
22	1,05	1,11	83,91

Tabla 2: Cantidad de varianza explicada por los factores hasta los eigenvalores mayores que 1.

Aplicando los algoritmos descriptos en las ecuaciones (1) a (12), se obtienen los resultados que muestra la Tabla 2, en la misma se observan, veintidós componentes necesarios para que los eigenvalores se mantengan mayores que uno, que explican el 84% de la varianza, lo que confirma la viabilidad de este método, pues reduce a veintidós el número de variables originales para explicitar la misma información contenida en aquellas.

LOCALIDAD	Factor 1	LOCALIDAD	Factor 2	LOCALIDAD	Factor 3	LOCALIDAD	Factor 4
J.V. GONZALEZ	0,72	POSADAS	0,83	BERNASCONI	0,83	BARILOCHE	-0,83
LA COCHA	0,69	CORRIENTES	0,83	BAHIA BLANCA	0,75	VALDIVIA	-0,82
ROSARIO DE LA FRONTERA	0,68	BELLA VISTA	0,77	MACACHIN	0,75	PUERTO MONTT	-0,72
METAN	0,68	PASO DE LOS LIBRES	0,71	SANTA ROSA	0,74	CONCEPCIÓN (CH)	-0,66
FRIAS	0,64	GOYA	0,70	GRAL ACHA	0,71	ESQUEL	-0,65
SAN MIGUEL	0,61	FORMOSA	0,69	GUATRECHE	0,69	COMODORO RIVADAVIA	-0,47
LEDESMA	0,59	SAENZ PEÑA	0,64	GRAL, PICO	0,69	SANTIAGO DE CHILE (1)	-0,44
CONCEPCIÓN (TUC)	0,59	MONTEVIDEO	0,62	VICTORICA	0,65	CARMEN DE PATAGONES,	-0,23
LA RIOJA	0,59	CONCORDIA	0,56	RANCUL	0,63	GANCEDO*	-0,22

LOCALIDAD	Factor 5	LOCALIDAD	Factor 6	LOCALIDAD	Factor 7	LOCALIDAD	Factor 8
RAFAELA	0,77	SAN RAFAEL	0,62	LAS FLORES	0,70	PUNTA ARENAS	0,70
GUALEGUAY	0,74	RIO CUARTO	0,60	BUENOS AIRES	0,60	QUIMILI (1)	0,50
ROSARIO	0,72	SAN LUIS	0,59	DOLORES	0,60	RIO GALLEGOS	0,49
MARCOS JUAREZ	0,62	SAN JUAN	0,56	BOLIVAR	0,56	CNL. SUAREZ	0,33
PARANA	0,59	VILLA REYNOLDS	0,54	CNL. SUAREZ	0,53	USHUAIA	0,25
PILAR	0,56	CHEPES	0,54	JUNIN	0,52	RIVADAVIA	0,25
CERES	0,51	CORDOBA	0,49	AZUL	0,51	SALTA	0,24
CORDOBA	0,49	VILLA DOLORES	0,46	MAR DEL PLATA	0,41	TRELEW	0,24
VILLA DOLORES	0,48	MENDOZA	0,45	TRES ARROYOS	0,39	PARANA	0,23

Tabla 3. Carga de las localidades en los primeros ocho factores.

En la Tabla 3 se muestran las cargas de las variables correspondientes en los factores comunes obtenidos después de aplicarles la rotación Varimax, con el objeto de identificar con mayor claridad las localidades que se asocian significativamente a cada uno de los mismos.

Se consideran suficientes para el propósito de esta investigación los primeros ocho factores, puesto que explican el 61% de la varianza, significativa dado el elevado número de variables iniciales.

De acuerdo a la ubicación de las localidades correspondientes a cada factor, se comprueba que siguen un patrón de homogeneidad areal, que justifica la elección definitiva de dichos ocho primeros factores, ya que condensan con bastante discriminación espacial la información contenida en las noventa y cinco variables originales, lo puntualizado se materializa en la Figura 2.

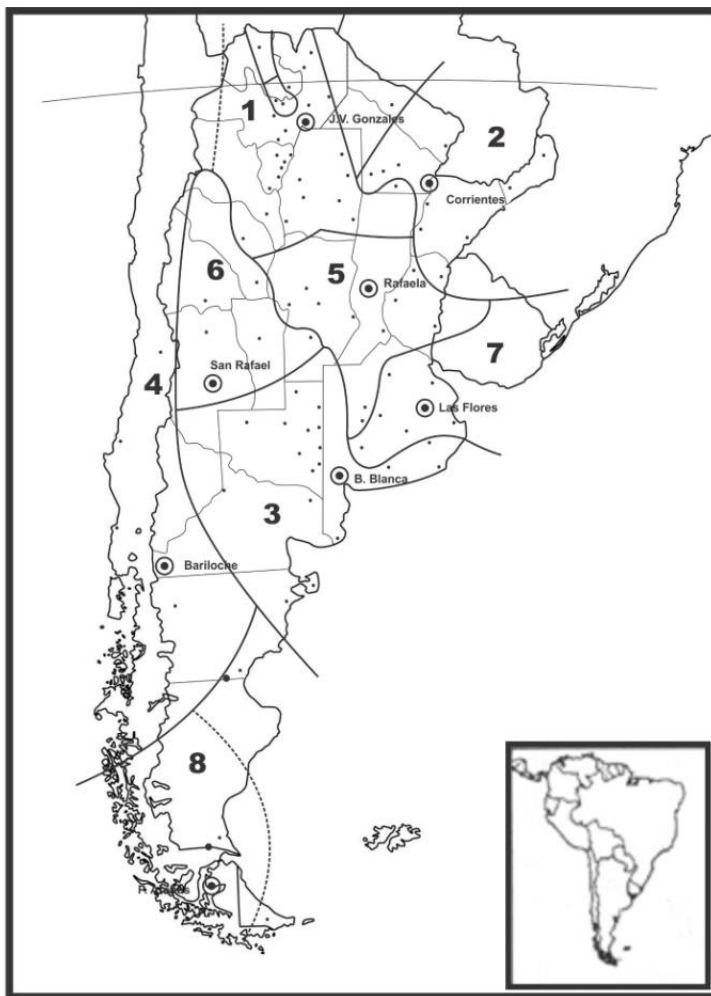


Figura 2. Dominios identificados por la discriminación espacial conseguida con el A. Factorial.

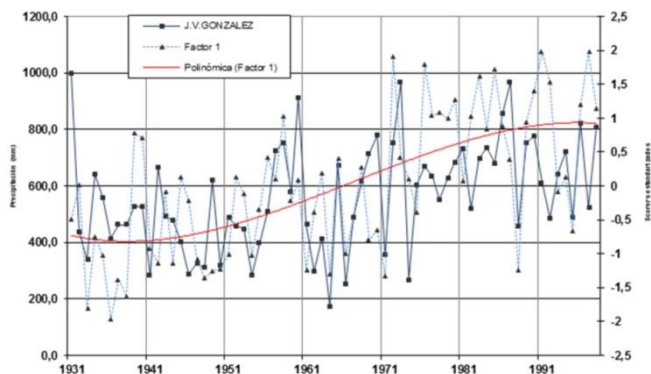


Figura 3. Serie interanual de las precipitaciones (mm, eje ppal) del dominio NOA, scores estandarizados estandarizados (eje secundario) y tendencia polinómica.

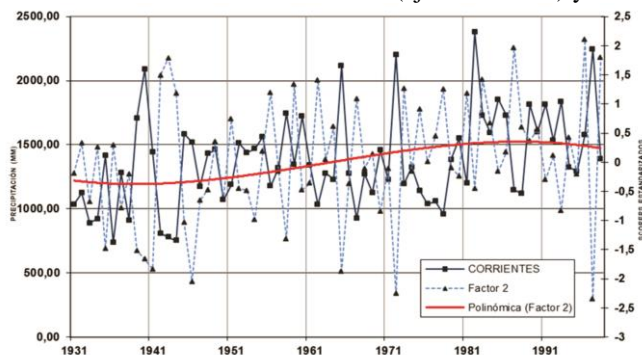


Figura 4. Serie interanual de las precipitaciones del dominio NEA, sus scores estandarizados y tendencia polinómica.

En la tabla 4 se observan las comunalidades correspondientes a los factores comunes obtenidos después de la rotación. Se verifica que la mayoría de ellas superan a 0,70 (valor de la comunalidad -ver ec. 11- que es la medida de la eficiencia de los k factores para representar cada variable) ratificando la validez de los factores elegidos para representar a cada variable. Más adelante, se describe y justifica la selección final de los factores retenidos, que se utilizarán en la discriminación espacial buscada. Los dominios geográficos delimitados por dicha discriminación y de acuerdo a cada factor, fueron los siguientes (ver Figura 2):

1- NOA (Noroeste argentino) cuya localidad más representativa es J. V. González, puesto que tiene la mayor carga (0,72) con el factor correspondiente.

LOCALIDAD	COMUN	LOCALIDAD	COMUN	LOCALIDAD	COMUN
AÑATUYA	0,82	J.V. GONZALEZ	0,82	PUNTA ARENAS	0,68
AZUL	0,80	JUJUY	0,74	QUIMILI	0,78
BAHIA BLANCA	0,79	JUNIN	0,78	RAFAELA	0,77
BANDERA	0,83	LA COCHA	0,80	RAFAELA	0,85
BARILOCHE	0,83	LA ESPERANZA	0,78	RANCUL	0,81
BELLA VISTA	0,83	LA QUIACA	0,74	RIO COLORADO	0,83
BERNASCONI	0,86	LA RIOJA	0,77	RIO CUARTO	0,78
BOLIVAR	0,83	LABOULAYE	0,83	RIO GALLEGOS	0,72
BUENOS AIRES	0,81	LAS BREÑAS	0,83	RIVADAVIA	0,77
CAMPO GALLO	0,69	LAS CEJAS	0,81	ROSARIO	0,82
CARMEN DE	0,80	LAS FLORES	0,83	ROSARIO DE LA	0,76
PATAGONES				FRONTERA	
CATAMARCA	0,80	LAS LAJAS	0,78	SAENZ PEÑA	0,80
CATAMARCA	0,84	LAS LOMITAS	0,77	SALTA	0,74
CERES	0,81	LAS TRANCAS	0,78	SAN JUAN	0,72
CHEPES	0,80	LEALES	0,81	SAN LUIS	0,75
CNL, SUAREZ	0,82	LEDESMA	0,79	S. M DE TUCUMAN	0,81
COM. RIVADAVIA	0,79	MACACHIN	0,85	SAN RAFAEL	0,77
CONCEPCIÓN	0,80	MAR DEL	0,77	SANTA ISABEL	0,82
		PLATA			
CONCORDIA	0,77	MARCOS	0,78	SANTA ROSA	0,83
		JUÁREZ			
CORDOBA	0,85	MENDOZA	0,82	SGO. DE CHILE	0,73
CORRIENTES	0,86	METAN	0,81	SGO. DEL ESTERO	0,75
DOLORES	0,80	MONI	0,77	TANDIL	0,75
EMBARCACION	0,75	NEUQUEN	0,74	TARTAGAL	0,77
ESQUEL	0,75	OJO DE AGUA	0,81	TRELEW	0,82
FORMOSA	0,79	PARANA	0,81	TRES ARROYOS	0,78
FRIAS	0,83	P.de losLIBRES	0,84	USHUAIA	0,66
GANCEDO	0,79	PEHUAJO	0,81	VALDIVIA	0,84
GOYA	0,84	PERICO	0,80	VICTORICA	0,85
GRAL ACHA	0,84	PILAR	0,83	VILLA ANGELA	0,78
GRAL, PICO	0,85	POSADAS	0,83	VILLA DOLORES	0,80
GUALEGUAYCHU	0,81	POZO HONDO	0,83	V. REYNOLDS	0,84
GUATRECHE	0,84	PTO MONTT	0,76		

Tabla 4: Comunalidades (COMUN) (ec. 11) correspondientes a las localidades con datos utilizadas

La Figura 3 muestra la serie temporal de la localidad citada contrastada con la de los scorers estandarizados correspondientes al primer factor. Se observa en ambas, un notorio incremento de las precipitaciones desde aproximadamente la década del cincuenta.

2- NEA (Noreste argentino) siendo su localidad más representativa Posadas con una carga de 0,83.

En la Figura 4 se grafica la marcha de las precipitaciones de dicha localidad y los scorers estandarizados correspondiente al segundo factor. Se verifica un leve

incremento entre 1967-1993 para luego decrecer levemente. Se nota que el aumento citado es mucho menor que en el caso del NOA.

3- COMAHUE su localidad más representativa es Bahía Blanca con 0,75 de carga.

En la Figura 5 se observa la marcha de las precipitaciones anuales de la misma y los scorers estandarizados del tercer factor. Se revela una leve ondulación alrededor de la media, pero prácticamente se mantienen constantes, tanto los scorers estandarizados como la variable original, alrededor de la misma, Poblete, et. al. (2001).

4- DOMINIO DE LOS WESTERLIES (vientos constantes del oeste) cuya localidad con mayor carga (0,82) es Bariloche.

La Figura 6, muestra la marcha interanual de los scorers estandarizados del cuarto factor y las precipitaciones anuales de la localidad de Bariloche. Se verifica una marcada tendencia al decrecimiento, en especial en las últimas décadas.

5- DOMINIO CENTRAL, con Rafaela como localidad con mayor carga (0,76).

La Figura 7, muestra los scorers estandarizados del quinto factor y las precipitaciones anuales de la localidad de Rafaela en su variabilidad interanual. Las mismas se han mantenido casi constantes hasta aproximadamente el año 1975, a partir del cual se observa un notorio incremento.

6- CUYO, siendo San Rafael la localidad más representativa (carga= 0,62).

La Figura 8, muestra los scorers estandarizados del sexto factor y las precipitaciones anuales, en ella se observa un paulatino incremento hasta aproximadamente 1965, a partir del cual se produce un pronunciado decrecimiento hasta la actualidad, Poblete (2001), Poblete y Bertol (2001).

7- DOMINIO RIO DE LA PLATA, con Las Flores como localidad con mayor saturación (0,69).

La Figura 9, muestra los scorers estandarizados del séptimo factor y las precipitaciones anuales de la localidad mencionada, observándose un incremento notable desde 1930 a 1945, a partir de este año decrece levemente hasta 1985, cuando vuelve a incrementarse.

8- MAGALLANES, siendo Punta Arena la localidad de mayor saturación (0,69). Debido a la insuficiencia de datos este dominio presenta localidades con cargas significativas que no tienen continuidad espacial, lo que justifica el puntuado en el mapa, Resultando el mejor ejemplo de las dificultades que se presentan al método la inhomogeneidad de los datos espaciales o su carencia.

La Figura 10, muestra los scorers estandarizados del octavo factor y las precipitaciones anuales de la localidad de Punta Arenas. En este caso decrecen hacia 1952 desde el cual se mantienen casi constantes hasta 1982 volviendo a incrementarse en 1997, para luego disminuir.

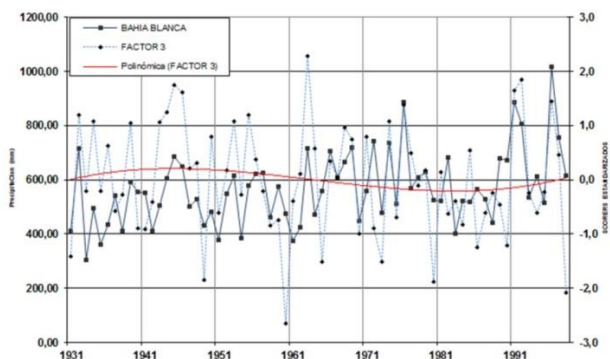


Figura 5. Serie interanual de las precipitaciones (mm, eje ppal) del dominio COMAHUE (estación Bahía Blanca), sus scorers estandarizados y tendencia polinómica.

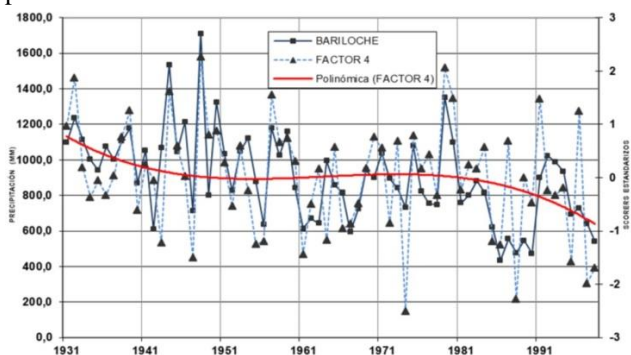


Figura 6. Serie interanual de las precipitaciones (mm, eje ppal) del dominio WESTERLIES (estación Bariloche), sus scorers estandarizados y tendencia polinómica

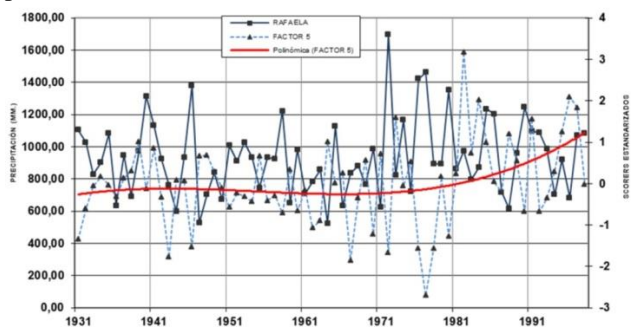


Figura 7. Serie interanual de las precipitaciones (mm, eje ppal) del dominio CENTRO (estación Rafaela), sus scorers estandarizados y tendencia polinómica

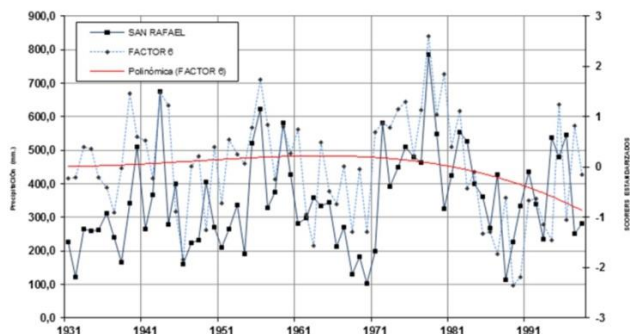


Figura 8. Serie interanual de las precipitaciones del dominio CUYO (estación San Rafael), sus scorers estandarizados y tendencia polinómica.

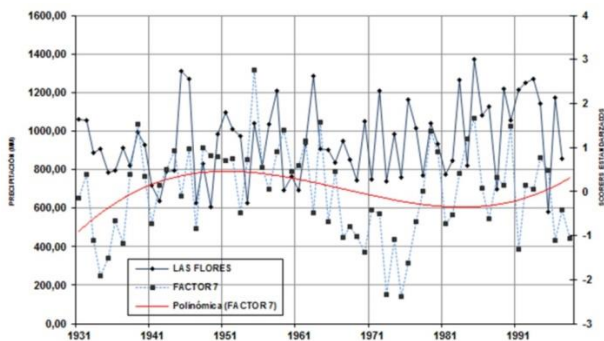


Figura 9. Serie interanual de las precipitaciones (mm, eje ppal) del dominio RIO DE LA PLATA (estación Las Flores), sus scorers estandarizados y tendencia polinómica.

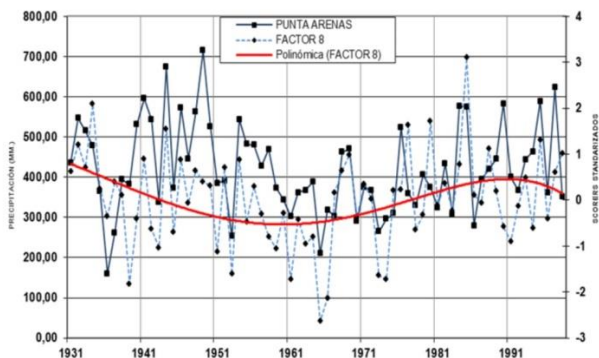


Figura 10. Serie interanual de las precipitaciones (mm, eje ppal) del dominio MAGALLANES (estación Punta Arenas), sus scorers estandarizados y tendencia polinómica.

Conclusiones

Mediante el análisis factorial se ha verificado que veintidós componentes son necesarios para que los eigenvalores se mantengan mayores que uno (criterio de Kaiser) alcanzando a explicar el 84% de la varianza, lo que resulta muy significativo, dado el elevado número de variables originales.

Luego de aplicar una rotación varimax, se han identificado ocho dominios con uniformidad espacial en la variabilidad de la precipitación media anual, a partir de igual número de factores, que llegan a explicar el 61% de la varianza. Lograr distinguir estos ocho dominios a partir de noventa y cinco variables, justifica el porcentaje de varianza obtenido por los mismos, pues cumplen con el objetivo primordial de la investigación: lograr una discriminación areal.

El criterio adoptado en la retención definitiva de esos ocho factores, es que siguen un patrón de homogeneidad territorial, puesto que condensan con bastante discriminación espacial la información contenida en las noventa y cinco variables originales.

En el caso presentado, se demostró que el Análisis Factorial no es sencillo de aplicar cuando se trabaja con muchas variables y más aún cuando la distribución geográfica de las estaciones de medición de éstas es muy inhomogénea (muchas cerca de centros muy poblados y pocas o nulas en áreas desérticas).

Bibliografía:

- Almeira, G., Ciappesoni, H. y Goniadzki D. (2009) Algunos aspectos de la precipitación regionalizada en el centro-norte de Argentina. *Preprint Congremet*, Buenos Aires, Argentina.
- Barros, V., Moyra. (1996). Precipitation trends in Southern America to the East of the Andes, Centre of Ocean Land Atmospheric Studies, COLA, MD, Report N°26. *Proceeding of the Workshops of Dynamics on Statistical of Secular Climate Variations*, 76-80.
- Bruniard, E. (1989) NA´ ALHUA, Instituto de Geografía, UNNE- Chaco.
- Chan, S., Behera, S., & Yamagata, T. (2008). Indian Ocean Dipole influence on South American rainfall. *Geophysical Research Letters*, 35(14). Retomado de: <http://dx.doi.org/10.1029/2008gl034204>
- Grupo Chadule: " Métodos estadísticos en Geografía", Ed, El Cano, 1000, Madrid.
- Hoffman, José A. (1989). Las variaciones climáticas ocurridas en la Argentina desde fines del siglo pasado hasta el presente. *El Deterioro del Ambiente en la Argentina*. Divulgación N° 15 del Servicio Meteorológico Nacional. FECIC, Bs. As. [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442\(2000\)013<1000:amitec>2.0.co;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442(2000)013<1000:amitec>2.0.co;2)
- Jennrich, R., & Robinson, S. (1969). A Newton-Raphson algorithm for maximum likelihood factanalysis. *Psychometrika*, 34(1), 111-123. <http://dx.doi.org/10.1007/bf02290176>

- Joereskog K.G. (1976) Factor analysis by least-squares and maximum-likelihood methods. *Statistical Methods for Digital Computers*. p125-153. Eds. In Enslein, K., Ralston, A, and Wilf, H,S. Wiley.
- Johnson, R., & Wichern, D. (1988). *Applied multivariate statistical analysis*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall.
- Minetti, J,L, y W. Vargas. (1998). Trends and jumps in the annual precipitation in South America, south of the 15°S. *Atmósfera* 11, N°4, 205-223, México.
- Morrison, D. (1982). *Multivariate statistical methods*. New York, (etc): Mac Graw-Hill.
- Poblete, A. G. y Bertol E. (2001). Variabilidad interanual del derrame anual del río San Juan, *IGA Revista de Geografía*, N°: 5. Instituto y Departamento de Geografía, FFHA-UNSJ. San Juan, Argentina.
- Poblete, A. G., Minetti, J, L. (2003). Asociación entre cuantificadores del ENSO e índices de circulación atmosférica regional con el derrame del río San Juan. *IGA Revista de Geografía*, Vol.:7 año 6, Páginas 26-33. Instituto y Departamento de Geografía, FFHA-UNSJ. San Juan, Argentina.
- Poblete, A. G., Minetti, J.L, Sánchez, G. DEL V. (2001). Análisis de la variabilidad interanual de los ríos andinos de Cuyo y del Comahue con métodos multivariantes. *Libro electrónico del IX Congreso Latinoamericano e Ibérico de Meteorología y VIII Congreso Argentino de Meteorólogos*. Buenos Aires,
- Reboita, M., Ambrizzi, T., & Rocha, R. (2009). Relationship between the southern annular mode and southern hemisphere atmospheric systems. *Revista Brasileira De Meteorologia*, 24(1), 48-55.
- Saji, N., Goswami, B., Vinayachandran, P., & Yamagata, T. (1999). A dipole mode in the tropical Indian Ocean. *Nature*, 401(6751), 360-363: <http://dx.doi.org/10.1038/43854>
- Silvestri, G. (2003). Antarctic Oscillation signal on precipitation anomalies over southeastern South America. *Geophysical Research Letters*, 30(21):. <http://dx.doi.org/10.1029/2003gl018277>
- Tatsouda M.N. (1971). *Multivariate Analysis*, Wiley, New York.
- Thompson, D., & Wallace, J. (2000). Annular Modes in the Extratropical Circulation. Part I: Month-to-Month Variability*. *Journal Of Climate*, 13(5), 1000-1016.