

CAPACIDAD PREDICTIVA DEL NIÑO-OSCILACIÓN SUR (ENSO) Y DE OTROS INDICADORES CLIMÁTICOS SOBRE LA PRECIPITACIÓN EN CÓRDOBA, ARGENTINA

A.C. de la Casa¹ y O.B. Nasello²

¹Facultad de Ciencias Agropecuarias - Universidad Nacional de Córdoba. e-mail: delacasa@agro.unc.edu.ar

²Facultad de Matemática Astronomía y Física - Universidad Nacional de Córdoba. e-mail: nasello@famaf.unc.edu.ar

Ciudad Universitaria (5000) Córdoba, Argentina

²Investigador del CONICET

Recibido 28/02/11; aprobado 01/10/11

Diferentes indicadores utilizados para evaluar el estado del fenómeno El Niño-Oscilación Sur (ENSO), como así también otros índices climáticos vinculados a la ocurrencia de lluvia se utilizaron para analizar y anticipar el comportamiento estacional de las lluvias (PP) en la Provincia de Córdoba, Argentina. Para un periodo extendido entre 1959 y 2008 y empleando el análisis de componentes principales (ACP) se evaluó la capacidad de predicción de información atmosférica y oceánica en términos de su vinculación con el fenómeno pluviométrico agregado estacionalmente (lluvia del semestre cálido entre octubre y marzo). Los indicadores utilizados muestran una señal que incrementa su intensidad a medida que son considerados más próximos al periodo objeto de la predicción, en tanto algunas de las variables no presentan una vinculación directa con la lluvia posterior, lo que permitió reducir la dimensión del problema multivariado y contribuyó a interpretar el fenómeno. El factor principal (CP1) que se extrae de ACP a partir de la matriz de datos reducida explica alrededor de 40 % de la variabilidad general de las variables predictoras y se presenta ligado al comportamiento posterior de la lluvia estacional en Córdoba. Los modelos de regresión lineal que se obtiene para cada localidad haciendo uso exclusivo de CP1, explican entre 9 y 30 % de la variabilidad de la lluvia de acuerdo a la localidad considerada

Palabras clave: ENSO, anomalía de la precipitación, SOI, MEI, ONI.

Different indicators used to assess the state of the El Niño-Southern Oscillation (ENSO), as well as other climatic indicators linked to the occurrence of rain were used to analyze and anticipate the seasonal pattern of rainfall (PP) in the Province of Cordoba , Argentina. For an extended period between 1959 and 2008 and using principal component analysis (PCA) the ability to predict the warm semester rain between October and March of different atmospheric and oceanic indicators was assessed. Some indicators show a signal that increases in intensity as they are considered closer to the period covered by the prediction, while others do not show a direct link to the post-rain. The main factor (PC1), extracted from the PCA reduced data matrix, explains about 40% of the overall variability of the seasonal rainfall in Córdoba. The linear regression models for each location obtained using only the main factor CP1, account for between 9 and 30% of the rainfall variability according to location.

¹ Autor para correspondencia

I. INTRODUCCIÓN

El fenómeno El Niño-Oscilación Sur (ENSO) es reconocido como la principal fuente de variabilidad climática a escala estacional e interanual en los trópicos y una buena parte de las regiones de latitudes medias (Trenberth, 1997). Considerando el papel fundamental de la disponibilidad de agua para la sociedad en general y el sector agropecuario en particular, resulta sumamente necesario esclarecer la capacidad predictiva del ENSO y de otros indicadores climáticos sobre la precipitación (PP) en procura de alcanzar el mejor aprovechamiento de esta información en un territorio geográfico determinado, como así también revisar los cambios que esta relación puede haber experimentado a lo largo del tiempo (Nery *et al.*, 2002).

La relación entre el ENSO y la PP ha sido motivo de estudio en distintas regiones agrícolas del mundo, con el propósito de establecer pautas predictivas del comportamiento climático para hacer un aprovechamiento más conveniente de la temporada de cultivo (Phillips *et al.*, 1998). Diversos sistemas de clasificación de la ocurrencia de las fases fría y caliente del ENSO se han utilizado para estimar el valor económico de esta información en los pronósticos agrícolas (Hill *et al.*, 2000).

En la región agrícola de secano de la Argentina la ocurrencia de El Niño (fase caliente) se asocia a un incremento de la precipitación trimestral y semestral, en tanto se ha verificado que los escenarios de sequía están más identificados con episodios La Niña (fase fría) (Sierra y Pérez, 2001; Sierra *et al.*, 2001; Ferreyra *et al.*, 2001; de la Casa y Ovando, 2006; Castañeda y Barros, 1994; Pascale *et al.*, 1997). Ambos escenarios climáticos extremos producen un fuerte impacto en la producción agrícola, contingencias que han sido evaluadas también a partir de información espectral, tanto en la Argentina (Seiler y Kogan, 2002) como en EE.UU. (Li y Kafatos, 2000).

En un contexto de variabilidad climática y cambio climático crecientes, Salinger *et al.* (2000) señalaron que desde la década del 70 los episodios El Niño han incrementado su frecuencia e intensidad. Por otra parte, el ciclo del ENSO no sólo dispone de mayor energía, sino también se observa una tendencia hacia los eventos fríos y esos cambios estadísticos se sobreponen a la tendencia de calentamiento general (Trenberth, 1997).

Por esta razón, además de buscar procedimientos que permitan anticipar la condición del año desde un punto de vista pluviométrico o productivo, es necesario establecer si en la actualidad se conserva la coherencia que anteriormente manifestó la relación de la lluvia con el ENSO y, de acuerdo con Nicholls (1986), confirmar si este fenómeno posee la fuerte "memoria" que podría conferirle potencialidad predictiva.

En vistas a confeccionar un pronóstico de lluvias, dada la complejidad de los procesos atmosféricos involucrados, los modelos predictivos se suelen componer incluyendo información de distinta naturaleza, como indicadores de la circulación general, anomalías de la presión atmosférica o de la temperatura de la superficie del mar, etc. (Landsea *et al.* 1998; Nnaji, 2001).

Este trabajo presenta los objetivos siguientes: (i) Analizar la capacidad de distintos indicadores del ENSO y del estado climático en general para predecir la ocurrencia de la lluvia en el territorio de la Provincia de Córdoba. (ii) Determinar el periodo del año en que dichas señales están más ligadas a la ocurrencia de lluvia estacional posterior; (iii) Verificar si los cambios que ha experimentado el régimen de la lluvia a través del tiempo han modificado la relación señal/respuesta; (iv) Desarrollar un modelo predictivo que reduciendo el número de variables independientes y a partir de una ventana temporal más ajustada estime la cantidad de lluvia acumulada durante el semestre cálido en distintas localidades de la región.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Datos de precipitación

Los registros de precipitación que se utilizaron proceden de la red de estaciones meteorológicas de superficie que opera el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) en la Provincia de Córdoba. La nómina de estaciones y su posición geográfica respectiva se indican en la Tabla 1. La capacidad predictiva del fenómeno ENSO y de otros indicadores climáticos sobre la lluvia estacional de Córdoba se evaluó a partir de los datos del período 1959-2008, lo que aseguró un lapso prolongado, uniforme temporalmente y bien distribuido en el territorio de Córdoba.

TABLA 1: Posición geográfica e identificación (Id) de las estaciones meteorológicas utilizadas en el estudio.

Estación	Id	Latitud	Longitud	Altitud (m s.n.m)
		Sur	Oeste	
Laboulaye	LB	34° 08'	63° 22'	137
Marcos Juárez	MJ	32° 42'	62° 09'	114
Córdoba	CO	31° 24'	64° 11'	425
Pilar	PI	31° 40'	63° 53'	338
Río Cuarto	RC	33° 07'	64° 14'	421
Villa de María de Río Seco	RS	29° 54'	63° 41'	341
Villa Dolores	VD	31° 57'	65° 08'	569

De acuerdo a resultados de de la Casa y Ovando (2006), la precipitación del semestre cálido (valor de PP acumulado entre octubre y marzo) mostró evidencias significativas de estar asociada con el ENSO en la Provincia de Córdoba. Por esta razón, en la búsqueda de eventuales candidatos a predictores el análisis se restringió al periodo inmediato anterior desde enero hasta setiembre. Esto involucra considerar indicadores mensuales, bimensuales o trimestrales según cada caso, en procura de desarrollar un procedimiento que tenga carácter de anticipación.

Para considerar la influencia de la fluctuación de la lluvia a lo largo de los años y analizar la dinámica particular de su relación con los candidatos a indicadores, se recurrió a la técnica de tendencias parciales de Tomé-Miranda (2004), considerando dos situaciones particulares: con 1 y 4 puntos de quiebre, respectivamente (de la Casa y Nasello, 2010). En estos casos la PP se evaluó cada año en términos de la anomalía de lluvia semestral respecto al valor de la tendencia parcial.

Indicadores climáticos

Los indicadores utilizados se obtuvieron de NOAA Earth System Research Laboratory (<http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/climateindices/list/>), y se presentan a escala mensual, bimestral o trimestral según el caso. Los índices fueron:

1. **Índice de Niño Oceánico (ONI)**: Promedio móvil de tres meses de la anomalía de temperatura de superficie del mar (SST) NOAA ERSST.v2 en la región de El Niño 3.4 (5N-5S, 120-170O), para el periodo base 1971-2000.

2. **Oscilación Decadal del Pacífico (PDO)**: (Zhang *et al.*, 1997; Mantua *et al.*, 1997): Se define como la primera componente principal de la variabilidad mensual de la temperatura superficial del mar (TSM), la presión atmosférica a nivel del mar y el viento superficial del Pacífico Norte (20Ny 60N).

3. **Índice del ENSO Multivariado (MEI)** (Wolter and Timlin, 1998): Considera seis variables incluyendo la presión del nivel del mar, los componentes zonales y meridionales del viento superficial, la temperatura superficial del mar, temperatura del aire superficial, y fracción del total del cielo cubierto por las nubes en la zona tropical del pacífico. Se calcula como la primera componente principal no rotada de los seis campos combinados, luego de realizar un promedio móvil con una ventana bimensual.

4. **Índice de Oscilación Sur (SOI)** (Troup, 1965): Se obtiene utilizando desviaciones de la media de la diferencias de presión a nivel del mar entre Tahití, Polinesia Francesa (18S,150O), y Darwin, Australia..

5. **Oscilación multidecadal del Atlántico (AMO)** (Enfield *et al.*, 2001): Corresponde a valores mensuales de la anomalía en la temperatura promedio del Atlántico Norte (0 70N).

6. **Modo Meridional del Atlántico (AMM)** (Chiang and Vimont, 2004): Describe la variabilidad de la temperatura del Atlántico en la región (21S-32N, 74O-15O).

7. **Índice de la Oscilación del Norte (NOI)** (Schwing *et al.*, 2002): Se calcula utilizando desviaciones de la media de la diferencias de presión a nivel del mar entre la coordenada (35N,135W) y Darwin (10S, 130E).

Análisis de Componentes Principales

La idea central del Análisis de Componentes Principales (ACP) es conseguir la simplificación de un conjunto de datos, generalmente cuantitativos, que proceden de un conjunto de variables interrelacionadas. (Sachs, L. 1978). Este objetivo se alcanza obteniendo, a partir de combinaciones lineales de las variables originales, un nuevo conjunto de igual número de variables, no correlacionadas, llamadas componentes principales (CP). Estos CP conservan la variabilidad presente en los datos originales y, al ordenarlas en forma decreciente por su varianza, permiten explicar el fenómeno de estudio con las primeras CP. Con ello se consigue: (a) sintetizar la información procedente de un volumen importante de datos recogidos en una investigación en particular; (b) crear nuevos indicadores o índices, representados por las CP, y (c) utilizar el ACP como paso previo a otras técnicas. En base a estos argumentos, el ACP se consideró una técnica apropiada para realizar esta evaluación multivariada.

Entre los aspectos teóricos del ACP, se considera que X es un vector de p variables aleatorias, definidas en una población, y que el vector X se mide en n individuos, generando una matriz de datos con n filas que representan los individuos en los que se ha medido las variables que representan las p columnas. Lo que se determinan son combinaciones lineales del tipo:

$$Y_k = a_{k1} x_1 + \dots + a_{kp} x_p = \sum a_{kj} x_j, k = 1, \dots, p$$

donde a_{k1}, \dots, a_{kp} son constantes numéricas, de tal forma que las nuevas variables Y_k o CP tengan varianza máxima en orden decreciente y ausencia de correlación entre sí. Las Y_k o CP se obtienen diagonalizando la matriz de correlaciones R de las variables originales, de forma que las constantes a_{k1}, \dots, a_{kp} se obtienen con las coordenadas de los vectores propios asociados a los valores propios de R , ordenados de forma decreciente, que representan las varianzas de las CP. Tras aplicar la técnica se crean nuevas variables, las CP. Pero además cada sujeto de la muestra, en este caso los diferentes indicadores climáticos, obtiene una puntuación en cada una de las CP seleccionadas, que permite resolver un problema frecuente, y no resuelto del todo, como el ordenamiento de sujetos cuando se tiene más de una medición de los mismos. Por otro lado, estas CP ayudan a desentrañar un modelo subyacente en el conjunto de datos iniciales, que logramos en el proceso de nombrarlas.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El primer análisis que se realizó, fue determinar la estructura de correlación entre el conjunto completo de indicadores climáticos de enero a setiembre y el total de la lluvia del semestre de octubre a marzo inmediato posterior, tanto para el valor de lluvia como para las anomalías que se obtienen con 1 o 4 puntos de quiebre (de la Casa y Nasello, 2010). La Figura 1 muestra para el caso de la lluvia cuándo los indicadores alcanzan valores de correlación de carácter significativo ($p < 0,05$).

Del conjunto de indicadores climáticos analizados, mientras la correlación para AMO y AMM no resulta significativa en ningún caso, las señales de NOI y PDO se muestran vinculadas a PP, siendo más generalizada en la región la influencia de la primera. Por su parte, los indicadores relacionados de manera directa al estado del ENSO presentan evidencia de correlación en los 3 casos, si bien el MEI muestra el valor más elevado y su señal es más generalizada en toda la Provincia de Córdoba.

El MEI y ONI presentan una asociación positiva con la lluvia del semestre cálido posterior, mientras para el SOI y NOI la relación es inversa, lo que se explica en virtud de la naturaleza del índice. De todos modos, los coeficientes son relativamente bajos y sólo para MEI el valor alcanza o supera 0,6 en Laboulaye. Por otro lado, en Villa Dolores la relación es prácticamente inexistente, de modo que un pronóstico de lluvia basado en el estado del ENSO carece de valor predictivo en esa región del oeste provincial. Esto confirma el carácter tangencial que manifiesta el fenómeno ENOS sobre la lluvia en la región de Córdoba (de la Casa y Ovando, 2006). Los indicadores climáticos presentan en algunos casos coeficientes de correlación elevados entre sí para igual periodo mensual, como así también muestran una estructura o efecto de autocorrelación temporal. El comportamiento

intercorrelacionado de las variables utilizadas destaca la necesidad de reducir la dimensionalidad de la matriz de datos, con el fin de evitar redundancias y poner de relieve las relaciones más consistentes. Con este fin se aplicó el análisis de componentes principales, lo que exige conformar una matriz de n variables $<$ m casos (años), donde $n = 35$ son las variables o factores (7 índices \times 5 periodos del año distintos); y $m =$ casos (años considerados). El periodo analizado abarca desde el año 1959 al año 2008 (50 años), al igual que los índices

climáticos empleados. Para satisfacer esta exigencia, se procedió en primer término a eliminar las variables de menor incidencia. La reducción inicial del número de predictores se efectuó descartando los que ocurren entre enero y abril previo al semestre cálido que, como muestra la Figura 1, presentan ausencia de correlación o valores de menor significación. De esta forma, la matriz de datos se redujo a una dimensión viable de 7×5 .

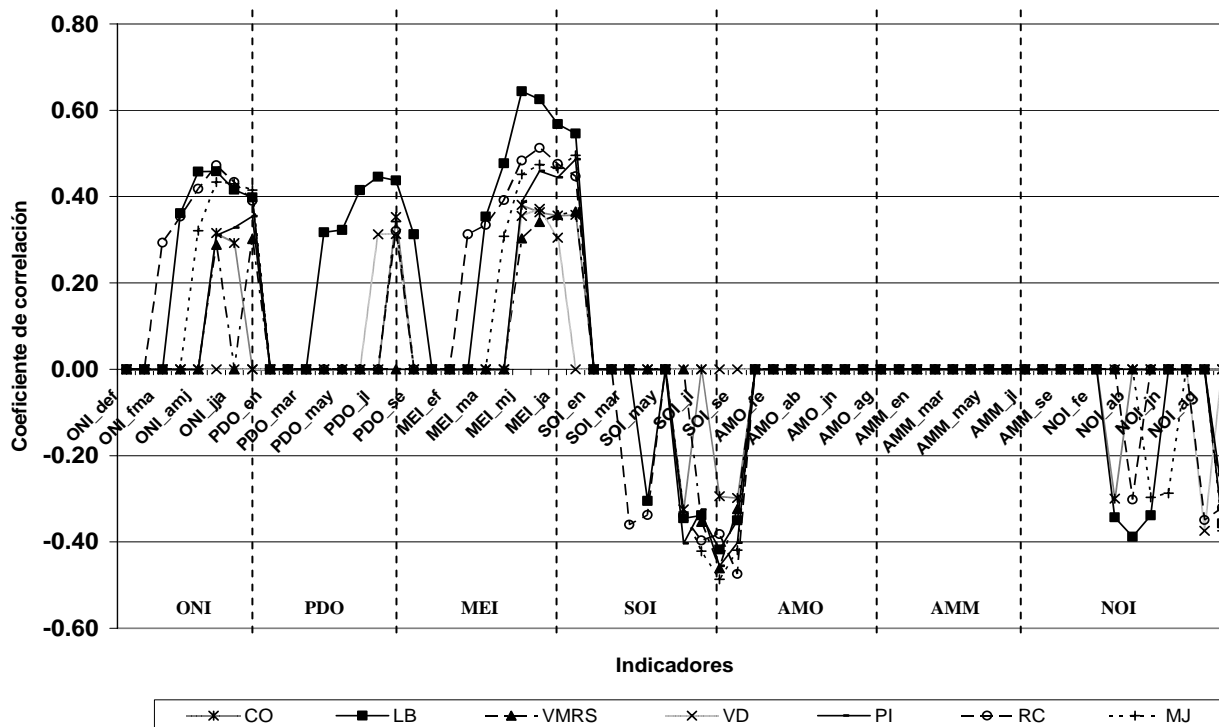


Figura 1: Valores significativos ($P < 0,05$) de la correlación entre distintos indicadores climáticos del periodo de nueve meses inmediatamente anterior y la precipitación del semestre cálido en diferentes localidades de la provincia de Córdoba, Argentina.

El ACP se realizó no sólo sobre el total de lluvia semestral (PP), sino también sobre los valores de anomalía de lluvia (PP-Tendencias), considerando que la fluctuación de la Tendencia a lo largo del tiempo puede modificar la vinculación entre los indicadores climáticos y la lluvia (Sierra et al., 2001). Esta técnica se presenta necesaria de implementar en estudios climáticos con series de tiempo no estacionarias, y se utiliza para descomponer la variabilidad de corto y largo plazo.

A fin de mostrar la relevancia predictiva de las variables, la Figura 2 presenta los resultados gráficos del ACP para la matriz de datos reducida correspondientes a los indicadores, a la lluvia semestral y la anomalía de lluvia, considerando la variación de la tendencia a lo largo del periodo que se produce con 1 punto de quiebre. La Figura 2 corresponde al plano factorial determinado por la primera y segunda componente principal y, de manera superpuesta, presenta las variables pluviométricas que constituyen el objeto de la predicción.

La representación cartesiana de los dos primeros factores ortogonales o componentes principales, que en conjunto explican más de 62% de la variabilidad asociada al conjunto de 35 variables analizadas, muestra a un grupo de indicadores más vinculado con el primer componente y

a otro conjunto con el segundo. El primer componente o Factor 1, asociado a los indicadores del ENSO y NOI, también se presenta relacionado a la precipitación acumulada del semestre cálido posterior. El otro componente o Factor 2, por su parte, está ligado a los indicadores climáticos AMO y AMM que, congruente con la Figura 1, no muestra indicios de estar asociados con la lluvia en la Provincia de Córdoba.

La Figura 2 revela que es absolutamente indistinto examinar valores de precipitación de manera directa (PP) o de sus anomalías (APP) utilizando 1 punto de quiebre, es decir considerando las variaciones temporales de tendencias parciales de menor frecuencia. Esto significa que la dinámica de la variación que ha presentado la lluvia a lo largo del tiempo no alcanzó a modificar en la región su relación o grado de dependencia con el fenómeno atmosférico/oceánico o los indicadores climáticos considerados.

En la Figura 3 se muestra, con respecto al plano determinado por los dos factores principales, los casos (años) clasificados como El Niño (o), La Niña (a) y Neutro (n) (de acuerdo al criterio para el valor medio de MEI de los 4 meses previos a octubre, $MEI < -0,5$: La Niña; $MEI > 0,5$: El Niño).

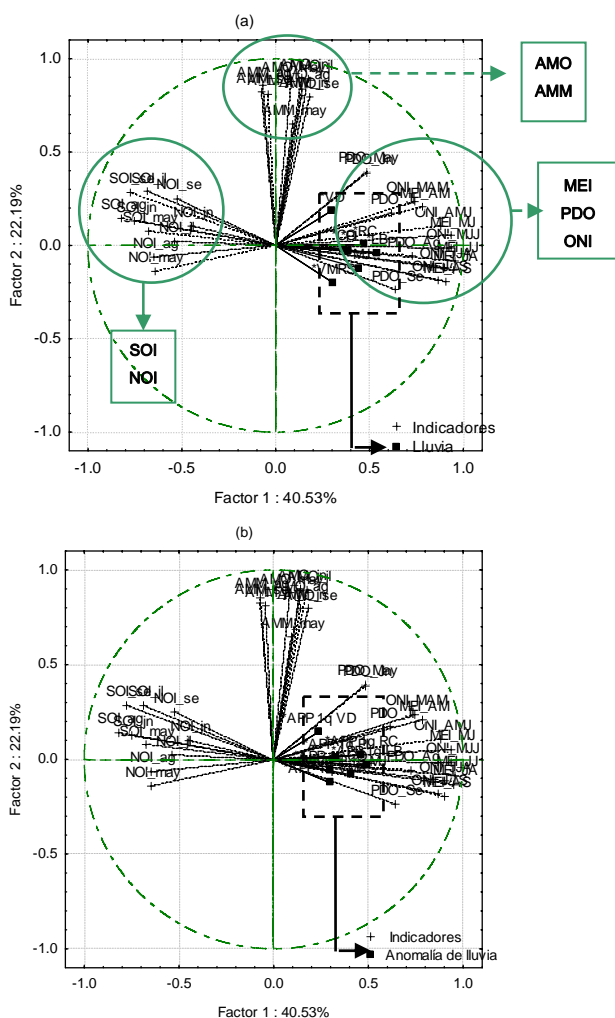


Figura 2: Diagrama de variables (indicadores) en el primer plano factorial y variables suplementarias superpuestas: (a) lluvia del semestre cálido posterior (PP) en las distintas localidades de Córdoba, Argentina; (b) anomalía de PP (PP-Tendencia).

En esta figura se observa el ordenamiento característico con respecto al primer factor o componente principal. Es decir, los valores positivos vinculados a los años El Niño (con lluvias por encima del valor medio), los valores negativos con los años La Niña (con lluvias por debajo del valor medio), como así también un rango próximo al valor nulo mostrando una confusión o mezcla considerable entre los años Neutros (n) y La Niña (a) o Neutros (n) y El Niño (o).

A partir de la información obtenida del ACP, se utilizó como variable independiente del modelo predictivo de la precipitación del semestre cálido para distintas localidades de Córdoba (Argentina) al primer factor obtenido y que representa al conjunto de las variables analizadas con influencia sobre el fenómeno. En general se observó, como se muestra en la Tabla 2, una tendencia positiva entre las variables. Si bien las rectas resultan estadísticamente aceptables ($p < 0,05$), la dispersión es considerable y, en el mejor de los casos, permite explicar el 30% de la variabilidad existente.

A modo de ejemplo, la Figura 4 muestra las curvas de ajuste obtenidas por correlación y regresión para dos localidades de la región (Laboulaye y Villa

Dolores), considerando al primer factor (CP1) como variable independiente y el total de lluvia del periodo entre octubre y marzo inmediato posterior como variable dependiente.

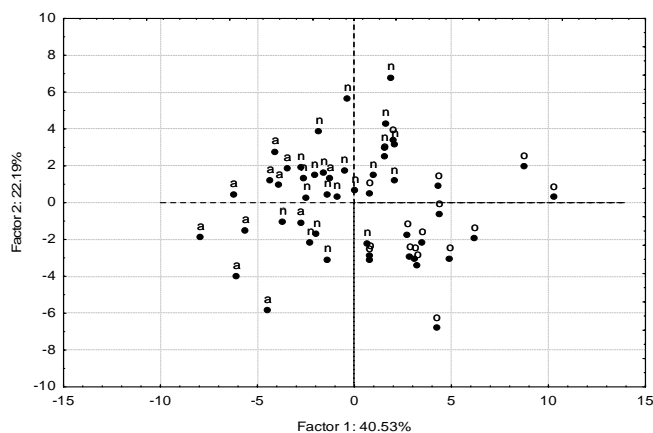


Figura 3: Diagrama de casos (años) clasificados como El Niño (o), La Niña (a) o Neutro (n) de acuerdo al MEI superpuestos al plano factorial.

TABLA 2: Coeficientes de regresión (a: ordenada; b: pendiente), determinación (R^2) y probabilidad para la relación lineal entre el primer componente obtenido (CP1) y la precipitación del semestre cálido posterior en distintas localidades (Id) de Córdoba.

Id	a	b	R^2	p
CO	656,4	13,6	0,13	0,0097
LB	665,9	24,2	0,30	0,00005
VMRS	663,5	11,3	0,09	0,0300
VD	525,5	9,0	0,09	0,0356
PI	652,6	17,3	0,15	0,0054
RC	683,2	16,7	0,22	0,0005
MJ	674,1	20,0	0,12	0,0013

IV. CONCLUSIONES

Los indicadores del ENSO (MEI, SOI, ONI), como así también PDO y NOI poseen capacidad moderada para predecir la ocurrencia de la lluvia del semestre cálido en el territorio de la Provincia de Córdoba. El periodo entre mayo y setiembre es cuando estos indicadores están más ligados a la ocurrencia de lluvia estacional posterior.

A partir del primer factor extraído del análisis de componentes principales se puede estimar la tendencia de la precipitación del semestre cálido posterior, resultando en funciones predictivas que explican entre 9 y 30 % de la variabilidad de la lluvia de acuerdo a la localidad considerada.

Al analizar la lluvia o sus anomalías se obtuvieron los mismos resultados, esto es una evidencia acerca de que las fluctuaciones y cambios que ha experimentado la lluvia en los últimos 50 años no alteraron la capacidad de predicción de los indicadores. Asimismo, esto demuestra que la limitada capacidad predictiva de estos indicadores no sería una consecuencia de las variaciones que presenta el régimen de lluvias a lo largo del tiempo.

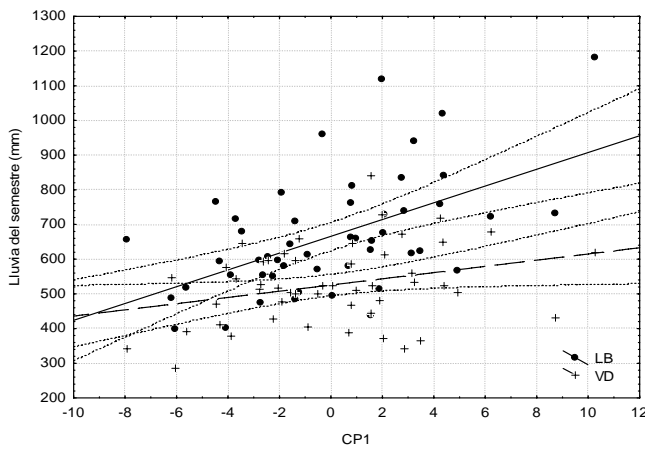


Figura 4: Diagrama de dispersión y curvas de ajuste para la relación lineal entre el Primer componente principal (CP1) y la precipitación acumulada del semestre cálido posterior en 2 localidades de Córdoba (LB: Laboulaye; VD: Villa Dolores).

V. BIBLIOGRAFÍA

- Castañeda M.E. y Barros V. (1994) "Las tendencias de la precipitación en el Cono Sur de América al este de los Andes" *Meteorológica* 19 (1y2) 23-32
- Chiang, J.C.H., and D.J. Vimont, 2004. Analogous meridional modes of atmosphere-ocean variability in the tropical Pacific and tropical Atlantic. *J. Climate*, 17(21):4143-4158.
- de la Casa, A., y G. Ovando. 2006. Influencia de episodios El Niño-Oscilación Sur (ENSO) sobre la precipitación y el rendimiento de maíz en la provincia de Córdoba, Argentina. *Agric. Téc. (Chile)* 66:80-89.
- de la Casa A., Nasello O., 2010. Breakpoints in annual rainfall trends over Córdoba, Argentina. *Atmospheric Research* 95, 419-427.
- Enfield, D.B., A.M. Mestas-Nunez, and P.J. Trimble, 2001. The Atlantic multidecadal oscillation and its relation to rainfall and river flows in the continental U.S. *Geophysical Research Letters* 28:2077-2080.
- Ferreira, R.A., G.P. Podestá, C.D. Messina, D. Letson, J. Dardanelli, E. Guevara, and S. Meira. 2001. A linked-modeling framework to estimate maize production risk associated with ENSO-related climate variability in Argentina. *Agric. For. Meteorol.* 107:177-192.
- Hill, H.S.J., J. Park, W. Mjelde, W. Rosenthal, H.A. Love, and S.W. Fuller. 2000. Comparing the value of Southern Oscillation Index-based climate forecast methods for Canadian and US wheat producers. *Agric. For. Meteorol.* 100:261-272.
- Landsea, C., W. Gray, M. Mielke, P.W. Berry, and R. Taft. 1998. Forecasting seasonal Sahelian rainfall by 1 December of the previous year. NOAA Hurricane Research Division, Colorado State University, Fort Collins, Colorado, USA.
- Li, Z., and M. Kafatos. 2000. Interannual variability of vegetation in the United States and its relation to El Niño/Southern Oscillation. *Remote Sens. Environ.* 71:239-247.
- Mantua, N.J., S.R. Hare, Y. Zhang, J.M. Wallace, and R.C. Francis, 1997. A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78 pp. 1069-1079.
- Nery, J.T., M.L. Orsini Fernandes Martins, e M.C. Baldo. 2002. Correlação da precipitação do estado do Paraná com a anomalia da temperatura da superfície do mar no Pacífico Equatorial. *Rev. Bras. Agrometeorol.* 10:305-316.
- Nicholls, N. 1986. Use of the Southern Oscillation to predict Australian sorghum yield. *Agric. For. Meteorol.* 38:9-15.
- Nnaji, A.O. 2001. Forecasting seasonal rainfall for agricultural decision-making in northern Nigeria. *Agric. For. Meteorol.* 107:193-205.
- Pascale A.J., E.A. Damario y C. Bustos, 1997. Aumento de las temperaturas mínimas invernales en el Alto Valle de Río Negro en los últimos 90 años. *Actas de 7ª Reunión Argentina y 1ª Latinoamericana de Agrometeorología*. Bs.As., Argentina.
- Phillips, J.G., M.A. Cane, and C. Rosenzweig. 1998. ENSO, seasonal rainfall patterns and simulated maize yield variability in Zimbabwe. *Agric. For. Meteorol.* 90:39-50.
- Sachs, L. 1978. *Estadística aplicada*. 567 p. Ed. Labor S.A., Barcelona, España.
- Salinger, M.J., C.J. Stigter, and H.P. Das. 2000. Agrometeorological adaptation strategies to increasing climate variability and climate change. *Agric. For. Meteorol.* 103:167-184.
- Schwing, F.B., T. Murphree, and P.M. Green, 2002. The Northern Oscillation Index (NOI): a new climate index for the northeast Pacific. *Progress in Oceanography* 53:115-139.
- Seiler, R.A., and F. Kogan. 2002. Monitoring ENSO cycles and their impacts on crops in Argentina from NOAA-AVHRR satellite data. *Adv. Space Res.* 30:2489-2493.
- Sierra, E.M., S. Pérez, G. Casagrande, y G. Vergara. 2001. Efectos del ENSO sobre las precipitaciones del trimestre noviembre-enero (1921/1998) en el centro-este de la provincia de la Pampa (Argentina). *Rev. Arg. Agrometeorol.* 1:83-87.
- Sierra, E.M., y S.P. Pérez. 2001. Efectos del ENSO sobre el régimen de lluvias en Junín, norte de la provincia de Buenos Aires, Argentina. *Rev. Arg. Agrometeorol.* 1:51-57.
- Tomé, A.R., Miranda, P.M.A., 2004. Piecewise linear fitting and trend changing points of climate parameters. *Geophys. Res. Lett.* 31, L02207, doi:10.1029/2003GL019100
- Trenberth, K. 1997. Short-term climate variations: recent accomplishments and issues for future progress. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 78:1081-1096.
- Troup, A.J. 1965. The Southern Oscillation. *Q. J. Roy. Meteorol. Soc.* 91:490-506.
- Wolter, K., and M.S. Timlin, 1998. Measuring the strength of ENSO-How does 1997/98 rank? *Weather* 53:315-324.
- Zhang, Y., J.M. Wallace, and D.S. Battisti, 1997. ENSO-like interdecadal variability: 1900-93. *J. Climate* 10:1004-102.