

## **CAUSAS DE LAS SEQUÍAS DE LA REGIÓN DEL NOA (ARGENTINA)**

**Bobba, María Elvira.**

Profesora Adjunta Departamento de Geografía. Universidad Nacional de Tucumán. Argentina.

Laboratorio Climatológico Sudamericano. Fundación Caldenius. Tucumán. Argentina.

### **Resumen**

Las sequías representan una desviación negativa de las situaciones normales de precipitación, lo que a su vez está determinado por circunstancias particulares de la circulación del aire.

La Región del Noroeste Argentino tiene un régimen de precipitaciones con una alta concentración estival. Si en esta época llegan a disminuir las precipitaciones, se puede generar una situación catastrófica, puesto que el entorno, tanto natural como humano, se halla organizado conforme a esta característica. La importancia de su conocimiento está relacionada con una mejor planificación a escala gubernamental – empresarial.

El objetivo de ésta investigación es demostrar en qué grado estos aspectos influyen en la producción del fenómeno y elaborar mapas conceptuales para los meses que aportan buenas precipitaciones durante el año.

Se realizaron cálculos de varianza explicada y de correlación entre el índice de sequía de la región del Noroeste Argentino (ISNOA) e índices de circulación, térmicos y de baroclinicidad obtenidos de la experiencia sinóptica regional (1956-1980). Se aplicó el Análisis Factorial con el fin de encontrar estructuras subyacentes y mejorar los resultados.

Palabras claves: Noroeste Argentino- Indices - Sequía – Circulación - Térmicos - Baroclinicidad.

## Introducción

Dentro de los sistemas que integran el campo físico de la Geografía, el clima es el de mayor inestabilidad. Su variabilidad es más bien la regla que la excepción. La sequía constituye en un evento recurrente de baja probabilidad. El evento seco es un incidente, una alteración relativamente corta de las condiciones climáticas de un lugar determinado. En el momento de diseñar estrategias es preciso reconocer la posibilidad cierta de ocurrencia de estos eventos extremos, no olvidando que las medidas deben ser preferentemente preventivas y no solamente paliativas.

La región del Noroeste Argentino (NOA) se localiza en el extremo noroeste de Argentina, limita con los países de Chile (oeste) y Bolivia (norte) y está integrada por las provincias de Jujuy, Salta, Tucumán, Catamarca y Santiago del Estero. Se ubica dentro de los paralelos de  $21^{\circ} 46' S$  y  $30^{\circ} 11' S$  y de los meridianos  $61^{\circ} 43' W$  y  $69^{\circ} 05' W$ , representando el 16,7% del total de la superficie continental del país. Figura 1

Figura 1. La Región del NOA dentro del contexto latino americano.



Por su posición latitudinal está inserta en las zonas tropical y subtropical. Además de esta zonificación climática, la existencia de importantes contrastes en su morfología la diversifica, enriqueciéndola con la aparición de variados topoclimas; influyendo, al mismo tiempo, en la vegetación, (Cabrera, 1958) en su hidrografía, y por lo consiguiente, en las actividades humanas.

La ubicación geográfica de la región determina condiciones que influyen fuertemente en el clima. La latitud, las diferencias de altura, y posición con respecto a los océanos, hacen de ella una región con particularidades únicas dentro de Argentina.

La región del NOA está ubicada en una banda latitudinal tropical y subtropical, lo que determina que en verano el ingreso de energía supere a la pérdida, lo que motiva una estación estival cálida. En invierno el ángulo de incidencia de los rayos solares es menor, lo que reduce el aporte de energía por unidad de superficie y provoca que las temperaturas disminuyan. Estos lineamientos generales, de índole astronómica, son modificados profundamente por el relieve: al aumentar la altura hacia el Oeste, por la presencia de los bloques montañosos, la temperatura disminuye, constituyendo este factor la principal causa de la variabilidad espacial de este elemento en la región, especialmente en sentido longitudinal (Minetti y otros, 2002).

La llegada de los vientos húmedos del Este en la estación estival, como respuesta a la interacción entre la Baja termo-orográfica del NOA y el Anticiclón Subtropical del Atlántico Sur (Lichtenstein, 1983; Schwerdtfeger, 1954) causan precipitaciones que van disminuyendo de Este a Oeste, pero cuando se acercan al reborde montañoso vuelven a sufrir un incremento por efecto orográfico, influencia que ya se percibe a unos 50 Km. hacia el Oriente de las primeras serranías (Poblete y otros, 1989). Esta corriente de aire asciende por las vertientes orientales enfriándose adiabáticamente, lo que provoca la formación de nubes de gran desarrollo vertical y generación de copiosas lluvias, que alcanzan su óptimo pluvial entre los 1000 y 1500 metros snm.

Al descender por las vertientes occidentales se invierte el proceso: el aire se calienta adiabáticamente y se seca, provocando la aparición de ámbitos áridos y semiáridos en los bolsones y valles del Oeste montañoso. Las vertientes orientales de estas cuencas intermontanas, son las beneficiadas con las escasas precipitaciones que produce el aire al ascender nuevamente y repetir el proceso que realizó al encontrar los primeros cordones orográficos, pero cada vez con menor contenido de vapor de agua disponible, por lo cual las depresiones más alejadas del Atlántico serán las más secas.

En invierno con la posición más al Norte del Anticiclón del Atlántico Sur, y una Depresión continental debilitada por el enfriamiento estacional del continente, los

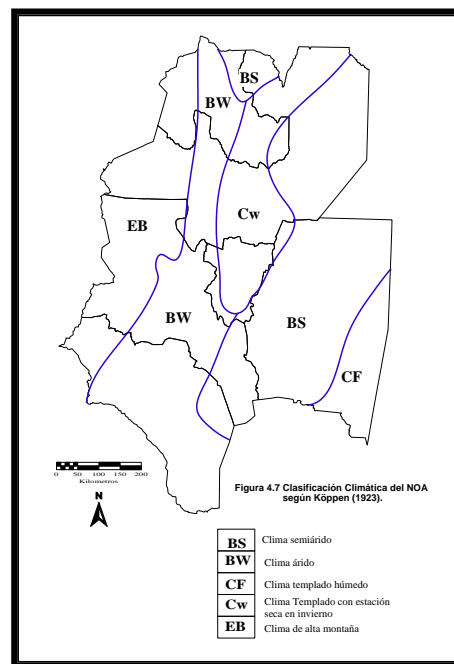
procesos de subsidencia adquieren importancia y determinan una estación seca invernal.

### La sequía en el Noroeste Argentino.

En éstos períodos secos estacionales que se presentan en invierno en los climas Cw y BSh (Köppen, 1923,1948) hay una asociación directa entre las precipitaciones y el input de energía.

En el caso de los climas Cw y BSh estas “sequías” estacionales generan un comportamiento diferente en la actividad agrícola, que se intensifica en la época de verano ya que, durante su transcurso, se suman dos aspectos positivos para el crecimiento vegetal: aumento de las precipitaciones e ingreso de mayor cantidad de energía solar. Ambos factores incentivan el proceso biológico de las plantas (crecimiento de la biomasa), ya sean cultivadas o naturales. En el clima BSh el déficit hídrico es permanente, las lluvias principales que caen en verano no son suficientes para cubrir la tasa de evapotranspiración, lo que obliga al agricultor a recurrir al riego. Todo lo contrario ocurre durante la estación invernal, las precipitaciones y las temperaturas disminuyen, por lo cual se establece un receso biológico natural que se manifiesta, también, en la agricultura. Una sequía que ocurra en la estación invernal, cuando la actividad biológica se reduce, no produce grandes perjuicios. Pero si se produce en verano, con todas las características ya descritas, el daño es considerable. ( Ver Figura 2)

Figura 2. Clasificación de los climas según Köppen en el NOA.



## Datos y métodos

Con el objeto de configurar el mapa conceptual “tipo de circulación a gran escala en situación de sequía para la región del NOA” para cada mes del año, se realizaron cálculos de varianza explicada y de correlación “r” entre el índice de sequía de la región (ISNOA) e índices de circulación, a los que se agregó índices térmicos de localidades situadas en el borde de los continentes cuyas temperaturas constituyen buenos indicadores de la variable sobre los océanos (Minetti y otros, 2003), y de baroclinicidad obtenidos de la experiencia sinóptica regional (Höel, 1970), correspondientes al período 1956-1980. Estos son: Índices de circulación.

$$ISNOA_M = \frac{\text{nº de localidades con precipitaciones} < X}{\text{Nº total de localidades}}$$

$$ISNOA_A = \sum IS_M$$

PA: presión promedio del Anticiclón del Atlántico Sur (Fuente: Laboratorio Climatológico Sudamericano).

DAP: diferencia de presión entre los Anticiclones Subtropicales de los océanos Atlántico y Pacífico (Fuente: Laboratorio Climatológico Sudamericano).

IT: índice transcordillerano (tomándose como tal a la diferencia de presión entre las localidades de Santiago de Chile y Córdoba) (Fuente: Laboratorio Climatológico Sudamericano).

BUSD: diferencia de presión entre Bs.As. y Santiago del Estero (Fuente: Laboratorio Climatológico Sudamericano).

ICZA: diferencia de presión entre Valdivia y Pta. Arenas (índice de circulación zonal austral) (Minetti y otros, 1990).

DASP: diferencia de presión entre el Norte del Pacífico Sur y el Sur del Atlántico Sur (Fuente: Laboratorio Climatológico Sudamericano).

PAS: promedio de presión del área comprendida entre los 40° y 50° S – 60° y 40° W (Fuente: Laboratorio Climatológico Sudamericano).

RIOCBA: diferencia de presión entre Río de Janeiro y Córdoba (Byerle and Paegle, 2002).

SOI: índice de Oscilación del Sur ( Wolker, 1924;Troup, 1965).

ATSGO: amplitud térmica de Santiago de Chile (Minetti y otros, 1993).

Índices térmicos del borde de los continentes

ATLIM: representa las anomalías térmicas de Lima (Aceituno, 1987; Minetti y otros, 2003).

ATRIO: anomalías térmicas de Río de Janeiro. (Fuente: Laboratorio Climatológico Sudamericano).

TGAL: temperatura promedio de Río Gallegos (Fuente: Laboratorio Climatológico Sudamericano).

TXBUE: temperatura máxima media de Bs. As. (Fuente:Laboratorio Climatológico Sudamericano)

### **Índices de baroclinicidad**

BA1: Diferencia térmica entre Río Gallegos y Bs. As (Fuente: Laboratorio Climatológico Sudamericano).

RB: Diferencia térmica entre Río de Janeiro y Bs. As (Laboratorio Climatológico Sudamericano).

RT: Diferencia térmica entre Río de Janeiro y Tucumán (Fuente: Laboratorio Climatológico Sudamericano).

- Con el fin de encontrar estructuras subyacentes que no aparecen en las correlaciones y mejorar los resultados, se aplicó el Análisis Factorial, para lo que se ha considerado el mismo conjunto de datos de las variables mencionadas.
- Se confeccionaron modelos de sequía para cada mes del año, según correlaciones estadísticamente significativas entre variables de circulación y térmicas de los bordes continentales, y los resultados obtenidos por el Análisis Factorial.

### **Resultados**

El ciclo hidrológico externo, océano – continente, se efectiviza debido a la diferencia de presión atmosférica entre los continentes y los océanos, principales fuentes de vapor de agua en el planeta. Gracias a éste mecanismo las zonas continentales pueden gozar de los efectos vivificantes de las precipitaciones. En el sector subtropical de Sudamérica el mecanismo clásico de circulación que explica esta advección esta representada por la Depresión continental del NOA, que interactúa con los bordes de los Anticiclones Subtropicales del Atlántico (AAS) y del Pacífico

Sur (APS), lo que ha sido mostrado por Prohaska (1976). En este esquema, la circulación establecida entre el borde occidental del AAS con la Depresión del NOA tiene una marcada marcha estacional causada por la pulsación estacional de la misma (Hoffmann,1986). Por otro lado, existe una interacción entre la citada depresión y el borde oriental del APS lo que genera una circulación del cuadrante Sur. Ambas circulaciones dan lugar a la evolución del tiempo y del clima en la región (Schwerdtfeger, 1954; Lichtenstein,1983).

Bobba y Minetti (2005) mostraron que el período lluvioso en el NOA va desde octubre a marzo por una fuerte asociación entre el déficit o superávit de agua precipitada y el debilitamiento o fortalecimiento del AAS.

**Tabla 1:** Relación entre el IS de la región del NOA y la presión del Atlántico (PA), expresado éste como cantidad de casos por arriba e igual o menores a la Mediana para el período octubre a marzo (1956-1980)

Período lluvioso Octubre a marzo	PA > Mediana	PA ≤ Mediana	Total
IS ≥ 0.6 (sequía)	12	47	59
IS < 0.6 (no sequía)	38	50	88
Total	50	97	147

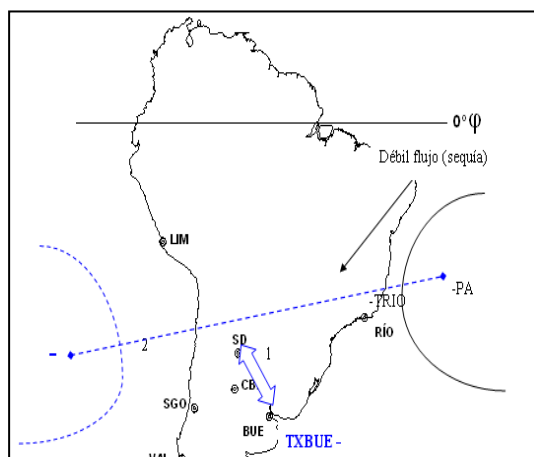
Donde el  $\chi^2 = 8.17$

Siendo  $8.17 > 3.84$ , se rechaza la  $H_0$ .

La región del NOA posee un régimen de precipitaciones cuasi – monzónico, con un máximo en el trimestre DEF, que representa el 50% de la precipitación anual para la región, (Vargas y otros,2001).

En las Figuras 3 al 8 se muestran los esquemas de los modelos de circulación atmosférica en situaciones de sequía para el Noroeste Argentino.

**Figura 3. Mes de octubre**



**Figura 4. Mes de noviembre**

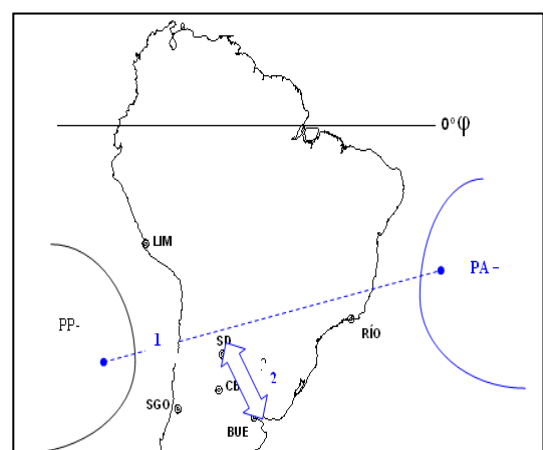


Tabla 2. Matriz de correlación mensual, 1956-1980. Entre los índices de circulación con el ISNOA. Con color rojo la carga (loading) del análisis factorial con su signo.

Ind. mes	PA	DAP	IT	BUSD		DASP	PAS	SOI	RCBA	ATRIO	ATLIM	TGAL	TXBUE	ATSGO
Oct.	-0.53 -0.88	-0.50		+0.46									-0.50	
Nov.	-0.84	-0.41 -0.78	+0.39	+0.44										

Con correlaciones  $\geq 0.39$  sig. Al 10% (N=25); Con correlaciones  $\geq 0.41$  y  $< 0.51$  sig. Al 5% (N=25);

Con correlaciones  $\geq 0.51$  sig. Al 1% (N=25)

### Octubre.

El ISNOA se asocia **En forma negativa con la presión del Anticiclón del Atlántico Sur (PA) logrando explicar un 28,4% de la varianza (VE)**. Cuando disminuye la presión en el Anticiclón del Atlántico la advección del Este para la región se debilita y el índice de sequía aumenta.

Los otros índices que ayudan a explicar el fenómeno, pero con relaciones no significativas, son: la anomalía térmica negativa de Río de Janeiro, en relación inversa con las sequías (**ATRIO**, con un 6,8% de la VE), y la relación positiva entre el IS y las diferencias de presión entre el Sur del Atlántico Sur y el Norte del Pacífico Sur (**DASP** con un 9,6% de la VE).

En el **AF**, surge explicando las sequías en el NOA. Aparecen en él cuatro índices con carga significativa, en orden según sus correlaciones, son: el **PA** con un  $r = -0.88$ , **TXBUE** con  $r = -0.50$ , el **DAP** con  $r = -0.50$  y **DBUSD** con  $r = 0.46$ . La relación con la presión en el Anticiclón de Atlántico Sur estaría corroborando el resultado del análisis de varianza (VE). La temperatura máxima de Bs. As. se presentaría en relación inversa con el ISNOA para este mes. Asimismo se tiene una escasa diferencia entre el Anticiclón del Pacífico con el del Atlántico, por lo cual y de acuerdo con la presión en PA, el primero también presentaría una presión por debajo de lo normal. En cambio la diferencia de presión entre Bs. As y Santiago del Estero se vería incrementada en procesos de sequía para el NOA.



Por lo que, uniendo ambos análisis, se podría decir que lo que explica el evento seco para este mes en el NOA, es la presión por debajo de lo normal del PA y la temperatura de Río de Janeiro, lo que estaría indicando aguas frías y menor evaporación sobre la costa. Ambos factores se sumarían para determinar la escasez de vapor de agua sobre la región. Ver Fig. 3.

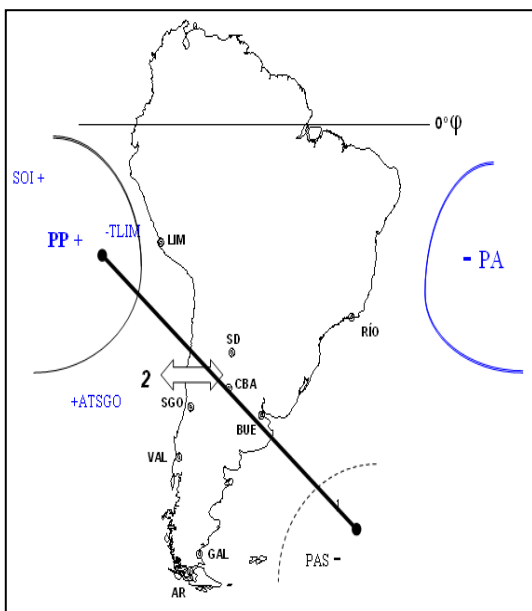
## Noviembre

**En este mes encontramos una sola asociación significativa. Se trata de la establecida, en forma negativa, con el DAP en un 17,2% de VE.** Cuando el DAP disminuye el índice de sequía aumenta, y a la inversa.

Con el **AF** aparecen en él tres índices con carga significativa, estos son:

**PA** con  $r = -0.84$ , el **DAP** con  $r = -0.78$ , y **DBUSD** con  $r = 0.44$ . La correlación negativa con el PA revela una presión debilitada en el Anticiclón del Atlántico Sur, que influiría en forma negativa para la advección de humedad a la región, y es el que mejor explica la ocurrencia de las sequías en la región. El segundo de los índices confirma el análisis de correlación lineal, por lo que se infiere que el Anticiclón del Pacífico también estaría debilitado. Ver Figura 4.

**Figura 5. Mes de diciembre**



**Figura 6. Mes de enero**

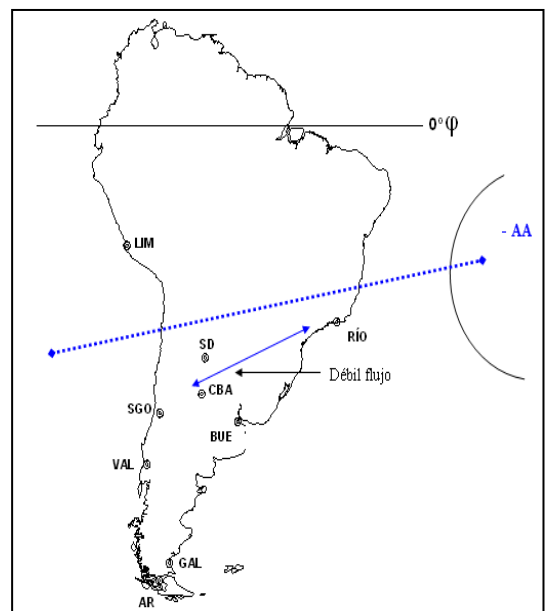


Tabla 3. Matriz de correlación mensual, 1956-1980. Entre los índices de circulación con el ISNOA. Con color rojo la carga (loading) del análisis factorial con su signo.

Ind. mes	PA	DAP	IT	BUSD	ICZA	DASP	PAS	SOI	RCBA	ATRIO	ATLIM	TGAL	TXBUE	ATSGO
Dici.	-0.9		+0.41			+0.43	-0.50	+0.41			-0.88			+0.53
Ener		-0.4							-0.54					

Con correlaciones  $\geq 0.39$  sig. Al 10% (N=25); Con correlaciones  $\geq 0.41$  y  $< 0.51$  sig. Al 5% (N=25);

Con correlaciones  $\geq 0.51$  sig. Al 1% (N=25)

### Diciembre.

En este mes se puede notar que, a diferencia de otros, son varios los índices que explican el fenómeno. Se observa que la presión del Sur del Atlántico Sur es la que se lleva el mayor porcentaje de varianza explicada, algo similar ocurre con el gradiente transcordillerano:

**El PAS se relaciona en forma negativa, con un 24,7% de VE.** Cuando el promedio de presión del Sur del Atlántico Sur disminuye (posiblemente por una mayor ciclogénesis en esta zona del Atlántico) aumenta el índice de sequía en el NOA. A la inversa, cuando la presión aumenta en este sector del Atlántico Sur, relacionado con la permanencia de altas casi estacionarias (bloqueo), el índice de sequía disminuye.

**El DASP, se relaciona positivamente con un 18,4% de la varianza explicada.** Lo que quiere decir que a mayor diferencia de presión entre el Norte del Pacífico Sur y el Sur del Atlántico Sur, le corresponde mayor índice de sequía en el NOA. Esta diferencia estaría determinada por un aumento de la presión al Norte del Pacífico Sur y una disminución de la presión al Sur del Atlántico Sur, durante el suceso de sequía en el NOA.

**El IT, se relaciona positivamente en un 16,9% de la VE.** A mayor índice de sequía le correspondería mayor diferencia de presión entre Santiago de Chile y Córdoba, explicando el evento por vuelco de aire seco a través de la cordillera.

Aunque la cuarta correlación no es significativa estadísticamente, se la considera pues ayuda a explicar el fenómeno, se trata de la asociación negativa con las anomalías térmicas de Lima con un 11 % de la VE. Es decir que, cuando las anomalías térmicas de Lima son negativas, el índice de sequía aumenta. Esto se relacionaría con anticiclogénesis en el borde oriental del Anticiclón del Pacífico sur, lo que concuerda con la relación positiva del IS con el IT.

Con el AF aparecen dos factores importantes, compatibles entre sí: el cuatro, al que llamaremos Pacífico por poseer altas asociaciones con índices relacionados con ese océano, en donde Tilim, con un  $r = -0.88$ , confirmaría el análisis de correlación lineal, y el SOI con un  $r = 0.41$  reafirma la hipótesis de aguas frías sobre el Pacífico ecuatorial en tiempos de sequía en el NOA. Este resultado ayuda a explicar la diferencia importante de presión entre el Norte del Pacífico Sur y el Sur del Atlántico Sur, ya que con un Pacífico tropical frío se intensificaría la presión en este sector concordando de esta manera la diferencia entre este y la parte Sur del Atlántico Sur (Aceituno, 1987) Esta configuración también confirmaría la presencia de un fuerte gradiente transcordillerano.

En el factor cinco, al que denominaremos Anticiclón Subtropical del Atlántico, sobresale la asociación inversa con el PA, con un  $r = -0.90$ , determinando que cuando disminuye la presión en el Anticiclón del Atlántico aumenta el índice de sequía en el NOA. También se relaciona positivamente con ATSGO ( $r = +0.53$ ) significando que el centro de Chile se encuentra bajo la influencia de un Anticiclón Subtropical Pacífico intenso, lo que es coherente con los otros indicadores: un fuerte gradiente transcordillerano y aguas frías sobre el Pacífico.

Un esquema de la situación para el mes de diciembre puede verse en la Fig. 5.

### **Enero**

En este mes ninguna de las correlaciones de los índices alcanza significación estadística con el NOA. Sin embargo, se considera la de primer orden, esta es

La presión del A. Atlántico (PA) con la cual se asocia en forma negativa, explicando un 11% de la varianza (VE).

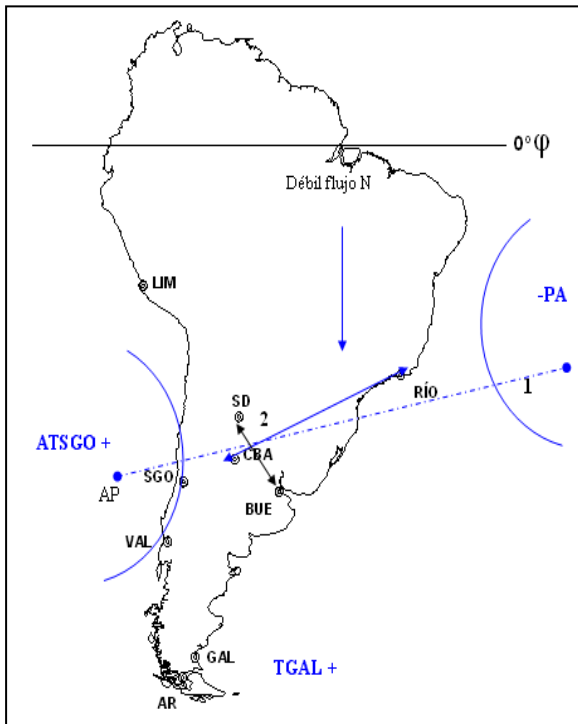
La mayor correlación se establece con la presión del Anticiclón Subtropical del Atlántico Sur que se relaciona con el IS del NOA en forma negativa. Esto se interpretaría de la siguiente manera: cuando disminuye la presión en este centro de acción, aumenta el índice de sequía en el NOA, el flujo de aire desde el Este sería más débil y la penetración del vapor de agua a la región escasa. Desde el punto de vista físico esta situación es coherente.

Con la aplicación del Análisis Factorial (**AF**) se encontró un buen loading entre el ISNOA y el **factor seis**, al que denominaremos **Atlántico** por relacionarse los índices correspondientes con este océano, en este caso de circulación. Las asociaciones con una significación estadística del 5% se alcanza con las variables **RIOCBA (-0.54)**, y **DAP (-0.45)**. Esto estaría mostrando una circulación débil del

Este en situaciones de sequía para este mes, y presiones atenuadas en los Anticiclones del Atlántico y del Pacífico (PA con un  $r = -0.30$ ). Se refuerza así la explicación encontrada por el análisis de varianza (VE), que no alcanzaba significación estadística.

La representación cartográfica de la situación recién planteada, se puede ver en la Figura 6.

**Figura 7. Mes de febrero**



**Figura 8. Mes de marzo**

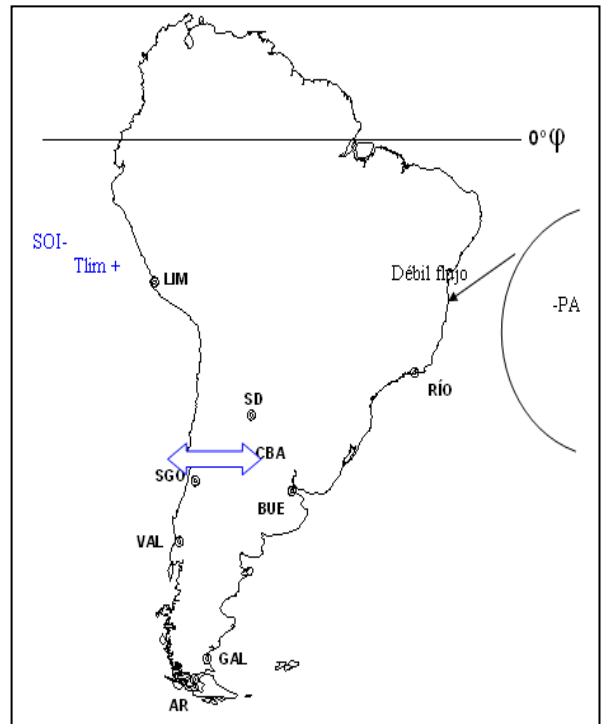


Tabla 4. Matriz de correlación mensual, 1956-1980. Entre los índices de circulación con el ISNOA. Con color rojo la carga (loading) del análisis factorial con su signo.

Ind. mes	PA	DAP	BUSD	ICZA	DASP	PAS	SOI	RCBA	ATRIO	ATLIM	TGAL	TXBUE	ATSGO
Febrero	-0.41						-0.82			+0.66			
Marzo	-0.43	-0.45 -0.41						-0.76			+0.41		+0.45

Con correlaciones  $\geq 0.39$  sig. Al 10% (N=25); Con correlaciones  $\geq 0.41$  y  $< 0.51$  sig. Al 5% (N=25);

Con correlaciones  $\geq 0.51$  sig. Al 1% (N=25)

## **Febrero.**

En este mes el índice de sequía del NOA se relaciona con:

La presión del A. del Atlántico, en forma negativa explicando un 16,6% de la varianza (VE). Con los otros índices no alcanza significación estadística.

Se repite la asociación del mes anterior con la presión en el A. del Atlántico Sur con mayor significación estadística. Otras asociaciones, aunque no significativas desde el punto de vista estadístico, se encontraron con las temperaturas de Lima (Li) y el índice transcordillerano (IT), ambas positivas. Lo que estaría relacionando a las sequías de este mes con aguas cálidas sobre el Pacífico ecuatorial, y un fuerte gradiente transcordillerano que produciría vuelco de aire a sotavento de la cordillera, ayudando a completar la explicación física al fenómeno. Sería el inicio de la fase seca de verano del ENOS para el NOA.

Con el **AF**, la mayor carga la consigue el **factor tres**, al que llamaremos **Pacífico**, ya que índices relacionados con este océano se asocian a las sequías del NOA. Mediante este análisis se muestra que el ISNOA se correlaciona en forma negativa con el SOI en  $-0.82$  y con Lima en un  $+0.65$ . Las sequías en el NOA, en febrero, se relacionarían con un Pacífico Oriental cálido y con presión debilitada en el Anticiclón Subtropical del Océano Atlántico. Aunque no alcanza significación estadística, el índice transcordillerano aparece en una relación positiva, corroborando lo hallado con el análisis de la varianza (VE).

En la Fig. 7. se representa cartográficamente la situación para el mes de febrero.

## **Marzo.**

En este mes el ISNOA se relaciona con: El DAP, en forma negativa logrando explicar un 20,1% de la varianza (VE).

Sólo se encontró asociación significativa con la diferencia de presión atmosférica entre los anticiclones del Atlántico y del Pacífico (DAP). Esta relación negativa indicaría que cuando disminuye la diferencia de presión entre los anticiclones subtropicales, aumenta el índice de sequía en el NOA, por lo cual se infiere que en ambos la presión estaría por debajo de sus valores normales. El débil gradiente entre Bs. As. y Santiago del Estero, estaría mostrando que la advección húmeda del SE sería muy débil, lo que ayuda a completar el esquema descrito, aunque este índice no alcanza significación estadística ( $-0.31$ ).

Con el análisis factorial (**AF**) aparece con carga significativa el **factor cuatro**, al que llamaremos **Atlántico**. En el se observa la intervención de la diferencia de

presión entre Río de Janeiro y Córdoba como causa principal de las sequías del NOA ( $r = -0.76$ ): su relación negativa indica que cuando disminuye el gradiente de presión entre estas dos localidades, aumenta la probabilidad de ocurrencia de sequías en la región. También aparece la amplitud térmica de Santiago de Chile (ATSGO) con un  $r = +0.44$ , lo que estaría indicando cielos despejados por la presencia de un Anticiclón Subtropical reforzado sobre la costa del centro de Chile y un posible vuelco de aire a través de la cordillera. El tercer índice que interviene para explicar el fenómeno es la presión en el centro del Anticiclón del Atlántico (PA) con una relación negativa ( $-0.43$ ). La disminución de la presión en PA haría que el índice de sequía del NOA aumentaría. El cuarto índice (DAP), coincide con el análisis de la varianza. Aparece, también, una relación positiva con Río Gallegos ( $+0.41$ ) lo que estaría mostrando una relación directa entre las sequías del NOA con aguas de los mares australes del Atlántico, cuyas temperaturas estarían por arriba de lo normal. Se puede observar, finalmente, una relación negativa en la diferencia de presión entre Santiago del Estero y Bs. As. (DBUSD), que ayuda a completar el esquema aunque no alcanza significación estadística. Ver Figura 8.

### Conclusiones

Tomando las anomalías de la temperatura de **Lima (ATLIM)** como indicadores de la temperatura del Pacífico ecuatorial oriental, las sequías del NOA se relacionan con un mar caliente en Febrero y en Diciembre con un océano con temperaturas por debajo de lo normal.

La relación entre las sequías y la diferencia entre las presiones de los Anticiclones del Pacífico y del Atlántico (DAP), tiene por lo general signo negativo, se destacan: Marzo, Octubre y Noviembre. Se deduce que las condiciones favorables a sequías ocurren cuando las diferencias se minimizan, ocurriendo lo contrario para situaciones lluviosas.

Con el índice de circulación DASP (diferencia de presión entre el Norte del Pacífico Sur y el Sur del Atlántico Sur), sólo se tiene significación positiva en Diciembre con el ISNOA. Esa situación estaría relacionada con la temperatura del Pacífico, lo que se observa mediante la anomalía térmica de Lima que para este mes es negativa, infiriendo que a esa zona le corresponde presión por arriba de lo normal. Se observa, también, que para el mes considerado la presión en el Sur del Atlántico Sur es negativa, lo que concuerda con la relación expresada entre el ISNOA y el DASP. Con el DBUSD aparecen dos asociaciones negativas con el ISNOA, en Enero y

Marzo, lo que es coherente puesto que en estas condiciones se estaría malogrando la advección de humedad desde el E. y SE. Con las relaciones positivas que aparecen en Octubre y Noviembre se podría deducir que el vapor de agua no llega desde esta dirección para el NOA o que otros factores estarían minimizando su efecto.

El Índice de Circulación Zonal Austral (ICZA) se relaciona negativamente en Mayo con el ISNOA.

El Índice Transcordillerano es siempre positivo en su relación con el ISNOA, y ocurre en Marzo y Diciembre, lo que explica las sequías para esos meses.

El PA, presión del Anticiclón del Atlántico, es el que mayor frecuencia de asociación se muestra negativo en **Febrero, Octubre, y Noviembre**. Las asociaciones negativas estarían determinando un debilitamiento del AA y con ello una empobrecida advección de humedad al continente.

La presión del Sur del Atlántico Sur aparece relacionada con las sequías en forma negativa en Diciembre. Esto podría estar relacionado con ciclogénesis en el Sur del Atlántico Sur, el PAS se relaciona con aumento de presión al N del Pacífico Sur.

La relación del SOI con las sequías del NOA aparecen relacionadas con signo negativo en Febrero, lo que concuerda con las temperaturas del Pacífico Ecuatorial Oriental para este mes (ATILIM).

La temperatura máxima de Bs. As. (TXBUE) aparece positiva en Enero y negativa en Octubre, siendo coherente con las situaciones que presenta el índice DBUSD, es decir temperaturas máximas en Buenos Aires estarían relacionadas con un débil gradiente de presión entre esta localidad y Santiago del Estero en Enero, y a la inversa en Octubre, en este mes las sequías logran ser explicadas por otras variables.

### Agradecimientos

A los Servicios Meteorológicos de los países sudamericanos por la información proporcionada. Al CONICET por sus aportes económicos a los proyectos PID 2157/2001 "Las sequías en Argentina", a la SECYT por los recursos del proyecto ANPCYT 07-06921 y a la Secretaría de Ciencia y Técnica de la UNT –CIUNT – 1796/04 "Las sequías en el NOA". En igual medida se agradece al Laboratorio Climatológico Sudamericano de la Fundación Caldenius por las bases de datos,

software específicos y el equipamiento facilitado para esta investigación y a su Director Dr. Juan L. Minetti.

### **Literatura citada**

- Aceituno, P, 1987: On the interannual variability of South American climate and the Southern Oscillation. 128 pág.. University of Wisconsin - Madison.
- Byerle, L.A. and J. Paegle, 2002: Description of The seasonal cycle of low- level flows flanking the Andes and their interannual variability, Dpto of Meteorology University of Utha , Meteorologica Vol 27 N° 1 y 2 , pp 71-88.
- Cabrera, A.L, 1958: Fitogeografía. La Argentina. Suma de Geografía. Tomo III. Cap. II. Editorial Peuser. pp 103-207. Bs. As.
- Höel, P.G., 1970: Introduction to Mathematical Statistics. J.W. & Sons, Inc. New York.
- Hoffmann, J.A.J., 1986: El campo bórico medio correspondiente al nivel del mar y sus variaciones estacionales en América del Sur. Anais 3 del I Congreso Int. De Met., SBMET, CAM, AMS, Brasilia.
- Köppen, W, 1923: Die Klimate der Erde. Grundriss der Klimakunde. Vol X, 369 pág. Berlin und Leipzig.
- Köppen, W, 1948: Climatología, Fondo de la Cultura Económica, 479 Pág, México - Buenos Aires..
- Lichtenstein, E. R., 1983 a: La depresión del 8 de setiembre de 1977. Meteorológica, Vol. XIV, N° 1-2, pp 555-565, CAM. Bs.As.
- Lichtenstein, E. R., 1983 b: Sobre el mecanismo de la presión del Noroeste Argentino. Meteorológica, Vol. XIV, N° 1-2, pp. 569-580, CAM. Bs.As.
- Minetti, J.L., W.M. Vargas y A.G. Poblete, 1990: La perturbación en la circulación zonal que originaría el Subcontinente Sudamericano. Rev. Geofísica 33, 161-178. IPGH-OEA. México.
- Minetti, J.L., W.M. Vargas, C.M. Hernández y M.E. López, 2002: La Circulación regional estacional en Sud - América. Su incidencia en el clima del Noroeste Argentino. Breves Contribuciones del Instituto de Estudios Geográficos. N° 14. pp 41-90, Tucumán. Argentina.
- Minetti, J.L., W. M. Vargas and A.G. Poblete, 1993: Comportamiento Interestacional e interannual del borde oriental del Anticiclón del Pacífico Sur. Revista Geofísica N° 38, pp 79-89.



- Minetti, J.L., W.M. Vargas and A.G. Poblete, 2003: Eastern equatorial pacific SST variability related with the temperature of Lima (Perú). Transworld Research Network37/661, Fort P.O., Trivandrum- pp 695-723, Kerala, India.
- Poblete A.G., J.L. Minetti y E. M. Sierra, 1989: La influencia del régimen hídrico andino-puneño en el oasis del Noroeste Argentino y Cuyo. Rev. de Geofísica. Instituto Panamericano de Geofísica e Historia N° 30, pp 137-149. México.
- Prohaska, I.J., 1976: The climate of Argentina, Paraguay and Uruguay. World Survey of Climatology. Vol. 12, Elsevier Scientific Publishing Company. Amsterdam. Pp 13-73.
- Schwerdtfeger, W., 1954: Análisis sinóptico y aspecto climatológico de los distintos tipos de depresiones bálticas en el norte de Argentina. Meteoros. Año 4, N°4, pp 301-323. SMN. Bs. As.
- Troup, A. J. : 1965: The Southern Oscillation. Q. J. R. Meteor. Soc. 91, pp 490-506.
- Wolker. G.T., 1924: Correlation in seasonal variation of weather IX, Mem. Meteor. Dept., 24, pp. 275-332. India.
- Vargas, W.M., J.L. Minetti y A.G. Poblete. 2001: Low - frequency oscillations in climatic and hydrological variables in southern South America's tropical-subtropical regions. Theoretical and Applied Climatology. Springer Wien New York. Vol.72, N° 1-2, 2002. Austria. pp. 29-40.
- Wolcken, K, 1954: Algunos aspectos sinópticos de la lluvia en la Argentina. Meteoros, Año IV, N°4, pp 327-366. SMN. Bs.As.