



# Cambios temporales del clima en la subregión del Chaco Árido

*Temporal changes of the climate in Arid Chaco subregion*

**MARCOS S. KARLIN**

Departamento Recursos Naturales  
Facultad de Ciencias Agropecuarias  
Universidad Nacional de Córdoba  
Valparaíso S/N. Ciudad Universitaria  
C.C. 509, C.P. 5000, Córdoba, Argentina.  
<mkarlin@agro.unc.edu.ar>

## RESUMEN

Las condiciones climáticas globales actuales difieren de los datos promedio históricos. En el Chaco Árido esta tendencia se ve reflejada en el avance de la frontera agropecuaria hacia el este de la subregión, debido en parte a un aumento en las precipitaciones. El objetivo de este trabajo es analizar los cambios temporales en las temperaturas y la precipitaciones, y la influencia del fenómeno ENSO sobre dichas variables. Se analizaron las series históricas climáticas de seis localidades del Chaco Árido para el período 1931-2011. Los resultados obtenidos evidencian tendencias positivas en las precipitaciones y temperaturas medias, aunque cada vez más variables. Las precipitaciones y la temperatura se encuentran inversamente relacionadas, posiblemente como consecuencia del avance de frentes fríos del sur, provocando mayores precipitaciones. Sin embargo, las regresiones lineales entre ambas variables no son significativas ( $p < 0,05$ ). Los cambios en la ubicación de los centros de alta y baja presión en esta subregión explicarían otra parte de las variaciones en las temperaturas medias anuales y las precipitaciones. Muchas de las anomalías climáticas observadas coinciden con eventos ENSO, aunque la intensidad de dichos eventos poco tienen que ver con la intensidad de las anomalías climáticas en la subregión.

## SUMMARY

*The current global climate conditions differ from the historical average data. In the Arid Chaco this trend is reflected in the advance of the agricultural frontier towards the east of the subregion, due partially to an increase in the precipitation. The aim of this paper is to analyze temporal changes of temperature and precipitation, and the ENSO influence over these variables. The historical series of the Arid Chaco climate were analyzed for six locations for the period 1931-2011. The results show positive trends in precipitation and average temperatures, although increasingly variable. Precipitations and temperature are inversely related, possibly as a result of the advance of cold fronts from the south, causing precipitation. Nevertheless, the linear regressions between both variables do not fit significantly ( $p < 0,05$ ). Changes in the location of high and low pressure centers in the*

*subregion explain another part of the variation in mean annual temperatures and precipitation. Many of the observed climate anomalies coincide with ENSO events, although the intensity of these events have little relation with the intensity of climate anomalies in the subregion.*

---

**Palabras clave:** Chaco Árido, ENSO, variabilidad climática

---

---

**Key words:** Arid Chaco, climatic variability, ENSO

---

## INTRODUCCIÓN

Los cambios climáticos y las variaciones cíclicas ocurridos a lo largo de la historia de la humanidad han sido producidos por causas naturales, debiendo el hombre adaptarse a dichas condiciones. Una de las causas de variación en el clima de diversas regiones del globo corresponde al fenómeno de El Niño-Oscilación del Sur (sus siglas en inglés: ENSO). Este ciclo tiene dos extremos: una fase cálida conocida como “El Niño” y una fase fría conocida como “La Niña”. En la región central de Argentina, estos fenómenos tienen gran influencia sobre el clima dominante (Rusticucci & Vargas, 2002).

En la actualidad, el concepto de cambio climático está íntimamente asociado a causas antropogénicas, y la comunidad científica atribuye los cambios en el comportamiento del clima a la emisión desmedida de gases de efecto invernadero, debido a la producción industrial y agropecuaria. Es innegable que las condiciones climáticas actuales difieren de los datos promedio históricos, y que gran parte del impacto de los fenómenos meteorológicos y los desastres naturales se deben, al menos indirectamente, a la expansión de la actividad humana sobre los grandes reguladores de dichos fenómenos, tales como el suelo o los bosques.

El cambio climático global sugiere una tendencia creciente de las temperaturas

del aire de +0,60 °C en los últimos 30 años, íntimamente correlacionado con el aumento en las emisiones de dióxido de carbono (IPCC, 2007). El efecto del cambio climático sobre las precipitaciones es muy variable y dependiente del área a considerar. A pesar de la relaciones establecidas por diferentes especialistas entre los aumentos en las concentraciones de gases de invernadero, las temperaturas y las precipitaciones, la gran mayoría de los modelos actuales no tienen en cuenta otros efectos antrópicos tales como cambios en el uso del suelo, por lo que es necesario ser cuidadosos frente a la aplicación de pronósticos a largo plazo.

La subregión del Chaco Árido no escaparía a esta tendencia, lo cual se ve reflejado en el avance de la frontera agropecuaria hacia el este de la subregión, debido en parte a un aumento en los regímenes de precipitación, además de los elevados márgenes económicos que la actividad agrícola ofrece.

El objetivo de este trabajo es el de analizar los cambios y la variabilidad en las temperaturas y las precipitaciones ocurridas a lo largo de ochenta años, con especial énfasis en los últimos cuarenta años, y los efectos del fenómeno ENSO sobre estos cambios.

## MATERIAL Y MÉTODO

### Área de estudio

El Chaco Árido Argentino posee una superficie cercana a los 8 millones de hectáreas, extendiéndose desde los 64° 30' a los 67° 30' de longitud Oeste, y desde los 28° 30' a los 33° 00' de latitud Sur. Ocupa la porción sudoeste del Gran Chaco Americano y es su expresión más seca y menos productiva. Abarca el oeste de Córdoba, este de La Rioja, sur de Catamarca, centro-norte de San Luis, este de San Juan y una pequeña área al suroeste de Santiago del Estero. Está rodeada por la Provincia Fitogeográfica del Monte, los Valles Áridos, el Chaco Semiárido y el Chaco Serrano. Sus límites están en general bien definidos por montañas cuyas alturas varían entre los 1000 y 3000 m, las que crean una serie de amplias cuencas arreicas y endorreicas. Dichas formaciones serranas actúan como barreras frente al avance de masas húmedas del sureste.

### Antecedentes sobre el clima de la subregión

De acuerdo a Morello *et al.* (1985) el clima predominante de la subregión del Chaco Árido es subtropical seco; mesotermal con precipitaciones que oscilan entre los 500 mm en su franja este, y los 300 mm en su límite oeste, con gran variabilidad estacional, anual y plurianual. Algunos autores (Capitanelli, 1979; Díaz, 2007) citan como límite oriental de la subregión a la isohieta de 550 mm.

Según Capitanelli (1979) la región pertenece al Dominio semidesértico, de las planicies del noroeste, con excesivo déficit de agua, sin invierno térmico. Se pre-

senta en esta región (principalmente en el Valle Central de Catamarca) un centro de baja presión, de origen térmico, de gran importancia en el clima local, que alcanza su máximo desarrollo durante el verano, favoreciendo el ingreso de masas húmedas de aire del noreste, responsables de las precipitaciones durante esta época.

El régimen pluviométrico es marcadamente estival, con el 70% de las lluvias concentrado en los cuatro meses más cálidos (noviembre a febrero). Las lluvias suelen ser torrenciales, de gran intensidad y baja frecuencia, por lo que producen, en áreas degradadas, efectos de erosión por efecto del impacto de la gota en el suelo desnudo y por la escorrentía superficial, arrastrando materiales a zonas más bajas de las cuencas. El verano térmico comienza en octubre y finaliza en marzo. Las temperaturas en verano son elevadas, con una media mensual del mes más cálido (enero) de 26 °C. Suelen presentarse 20 a 25 días con temperaturas superiores a los 40 °C y máximas absolutas que sobrepasan los 45 °C. Gran parte del Chaco Árido forma parte del polo de calor de Sudamérica (Prohaska, 1959). Los inviernos son templados, la temperatura media mensual del mes más frío es aproximadamente de 12 °C, aunque siempre hay heladas (5 a 10 días en el año), las cuales comienzan en la segunda semana de mayo y finalizan en agosto. Las oscilaciones térmicas diarias son importantes, y son comunes diferencias de 10 °C entre el día y la noche.

El índice hídrico (Thorntwaite, 1948) es menor a -20 en toda la región y la evapotranspiración anual es de 1000 a 1200 mm (Karlin & Díaz, 1984). Se produce déficit hídrico durante todo el año, con valores

que alcanzan hasta -400 mm durante el verano térmico, y hasta -200 mm en invierno.

Los vientos predominantes son los del N y S, pero existe la ocurrencia de vientos del NE en el área correspondiente al SE de Santiago del Estero, donde las sierras son más bajas (Capitanelli, 1979).

### Análisis estadístico

Se analizaron las series históricas climáticas de temperaturas medias del aire ( $T^{\circ}\text{med}$ ) y precipitaciones medias mensuales y anuales (PPmed) correspondientes a las localidades de San Fernando del Valle de Catamarca, La Rioja, Chamental, Chepes, Villa Dolores y San Luis, para el período 1931-2011, excepto para Chepes (período 1931-1996). Los valores anuales promedio se calcularon a partir de los datos mensuales, computándolos para los períodos entre julio-junio de cada año.

Las series climáticas correspondientes al período 1931-1996 fueron tomados de la base de datos de FAOCLIM 2 (FAO-Agrometeorology Group, 2003), mientras que los datos faltantes hasta junio 2011 fueron tomados de la base de datos Meteored (Alpred, ingreso: 07/2011). Los valores correspondientes a fechas similares de ambas bases de datos fueron contrastados para corroborar la fidelidad de los datos. Asimismo, se contrastaron eventos extremos de las distintas localidades para evaluar la rigurosidad en la toma de datos.

A fin de actualizar la caracterización climática de la subregión descrita en la bibliografía citada en este trabajo, se construyeron climogramas para cada localidad con datos de temperaturas máximas, medias y mínimas, y precipitaciones, utilizando los valores correspondientes al período 1970-2011.

Las series de tiempo para los períodos 1931-2011 y 1970-2011 fueron graficadas y analizadas, estableciendo relaciones entre las temperaturas medias y las precipitaciones anuales, y comparando eventos extremos con episodios ENSO históricos (National Weather Service, 2011), utilizando el Índice Oceánico del Niño (ONI). Se calcularon regresiones lineales y no lineales ( $p < 0,05$ ) para  $T^{\circ}\text{med}$  y PPmed en relación a las series, a fin de establecer las tendencias de dichas variables en el tiempo.

Se realizaron análisis de varianza (LSD Fisher,  $p < 0,05$ ) sobre las variables de temperatura y precipitación, a fin de establecer diferencias significativas entre décadas y entre pares de décadas (30-40, 50-60, 70-80 y 90-00).

Se aplicó el Test de Rodionov (2004), algoritmo que calcula la diferencia entre los valores medios de dos regímenes subsecuentes y que sería estadísticamente significativo de acuerdo a un test T-Student:

$$\text{diff} = t \sqrt{2\sigma^2/l}$$

donde  $t$  es el valor de la distribución  $t$  (bilateral) con  $2l-2$  grados de libertad a una probabilidad de 0,05. El parámetro  $l$  indica la serie de años correspondientes a un probable cambio de régimen (en este caso de 10 años) y  $\sigma^2$  es la varianza promedio de las oscilaciones de precipitación respecto a la media histórica (474,3 mm) correspondiente a los 80 años analizados. Los valores medios  $\bar{x}_R$  de estas oscilaciones correspondientes a  $l=10$  años se suman y restan a  $\text{diff}$  obteniendo  $\bar{x}_R + \text{diff}$  y  $\bar{x}_R - \text{diff}$ , que serán los rangos máximos y mínimos contrastados con cada valor anual, obteniendo  $\bar{x}_R$ . El cálculo final para obtener los Índices de Cambio de Régimen (ICR) es

$$ICR_{i,j} = \sum_{i=j}^{j+m} \frac{x_i \cdot}{l\sigma_1}, m = 0, 1, \dots, l-1$$

Un cambio de régimen se determina mediante valores de precipitación anual que excedan los rangos  $\overline{x_R} + y \overline{x_R}$  - por dos o más años continuos.

Todos los análisis estadísticos se realizaron a través del software Infostat (Di Rienzo *et al.*, 2007)

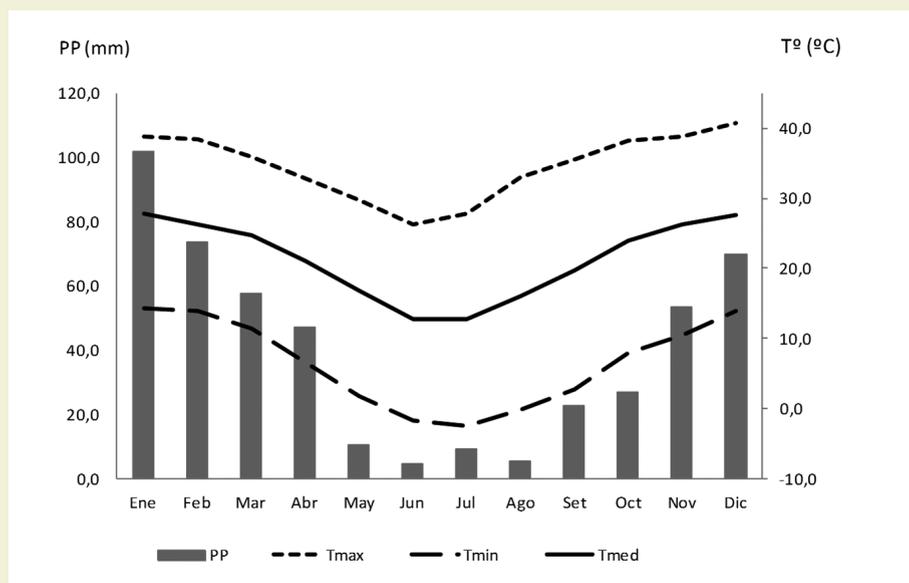
## RESULTADOS

### Caracterización climática espacial de la subregión

En base a datos climáticos de las seis localidades analizadas, se obtuvieron los climogramas correspondientes al período 1970-2011 (Figuras 1 a 6).

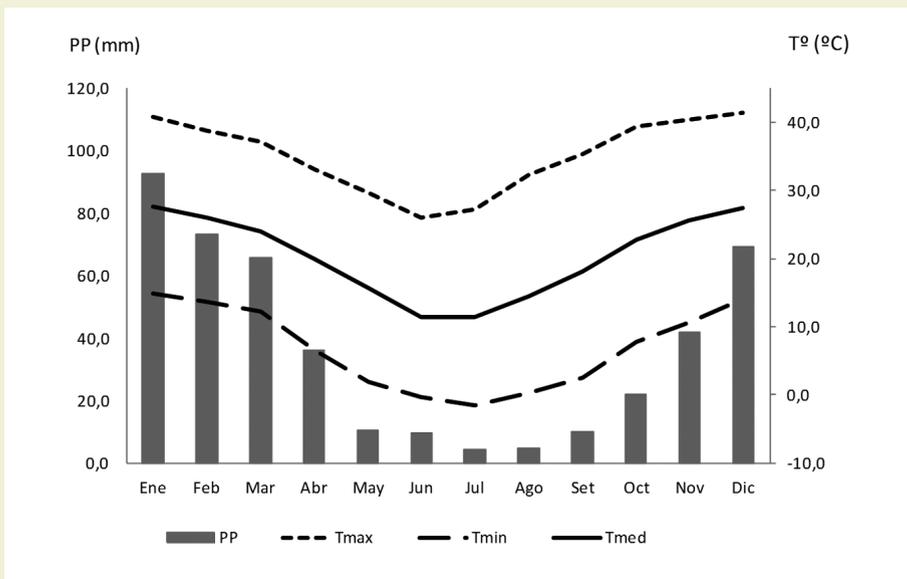
Las temperaturas medias anuales para este período varían en forma decreciente de acuerdo a la latitud y altitud con valores medios que van desde 21,3 °C en S. F. V. Catamarca a 17,7 °C en San Luis (Tabla 1). Las temperaturas máximas medias más elevadas pueden encontrarse en La Rioja durante los meses de diciembre, mientras que las temperaturas mínimas medias más bajas corresponden a las localidades de Villa Dolores y San Luis con valores de -3,4 y -3,3 respectivamente durante los meses de julio (Figuras 2, 5 y 6).

Las mayores amplitudes térmicas estacionales, calculadas como diferencia del promedio de las temperaturas máximas y mínimas medias, pueden encontrarse en Catamarca y Villa Dolores, ambos con 28,7 °C de diferencia promedio entre



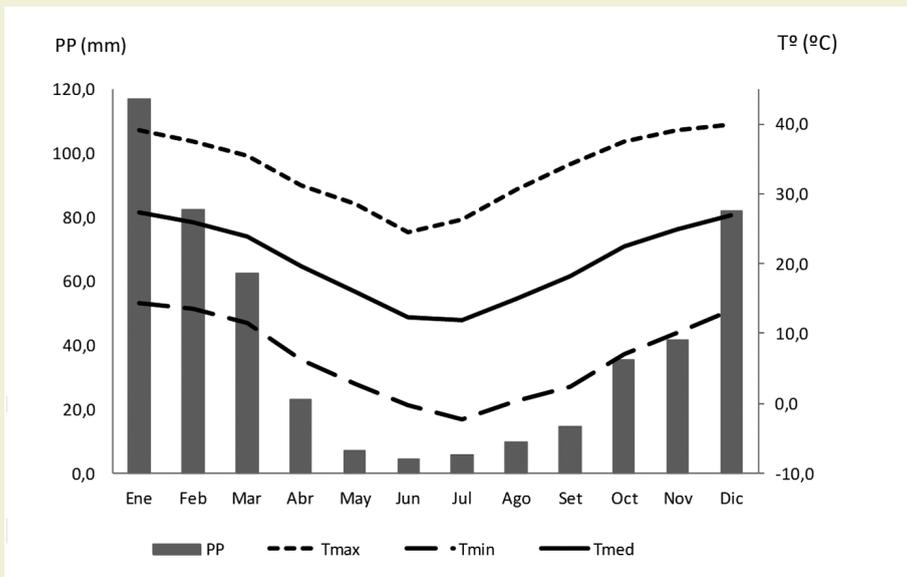
**Figura 1.** Climatograma de la ciudad de San Fernando del Valle de Catamarca (aeropuerto), valores promedio período julio 1970 a junio 2011

**Figure 1.** Climograph of the city of San Fernando del Valle de Catamarca (airport), mean values period July 1970 to June 2011



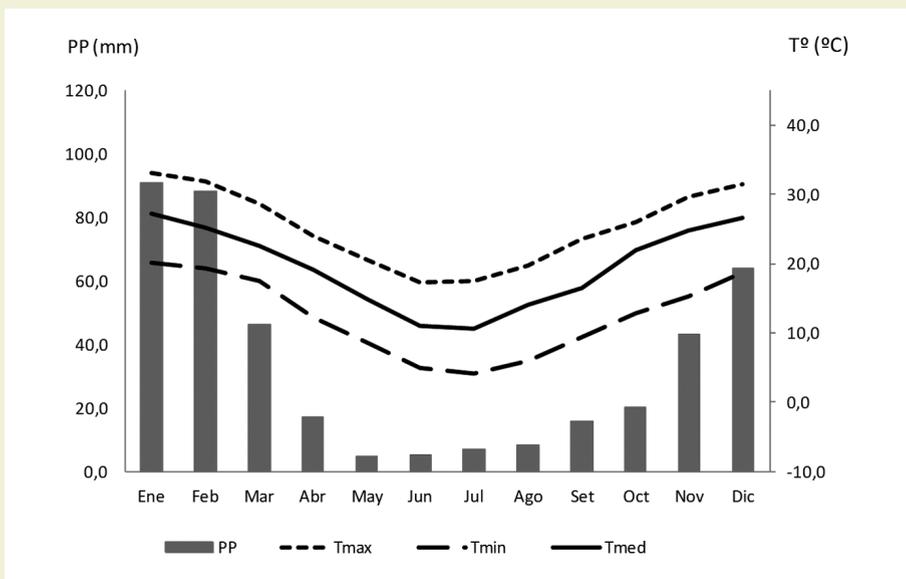
**Figura 2.** Climograma de la ciudad de La Rioja (aeropuerto), valores promedio período julio 1970 a junio 2011

*Figure 2. Climograph of La Rioja city (airport), mean values period July 1970 to June 2011*

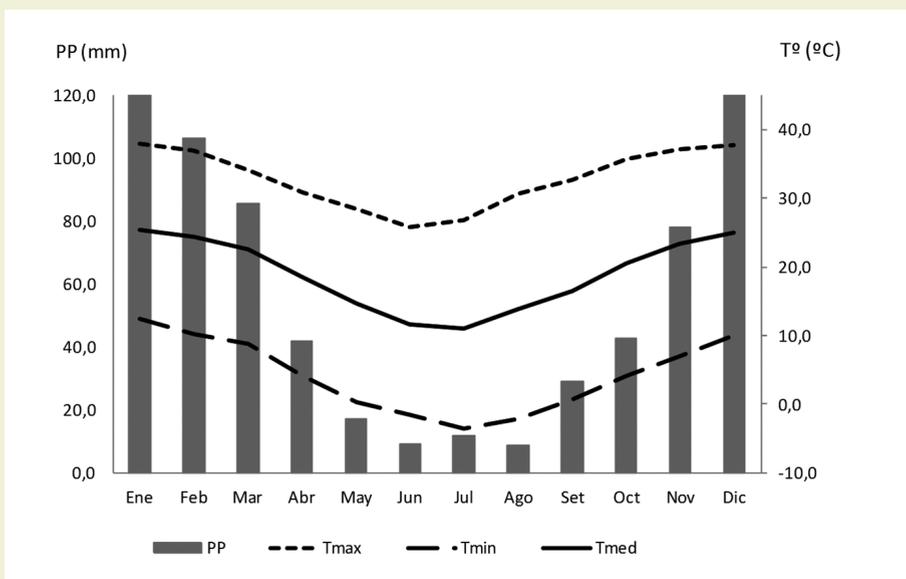


**Figura 3.** Climograma de Chemical (aeropuerto), valores promedio período julio 1970 a junio 2011

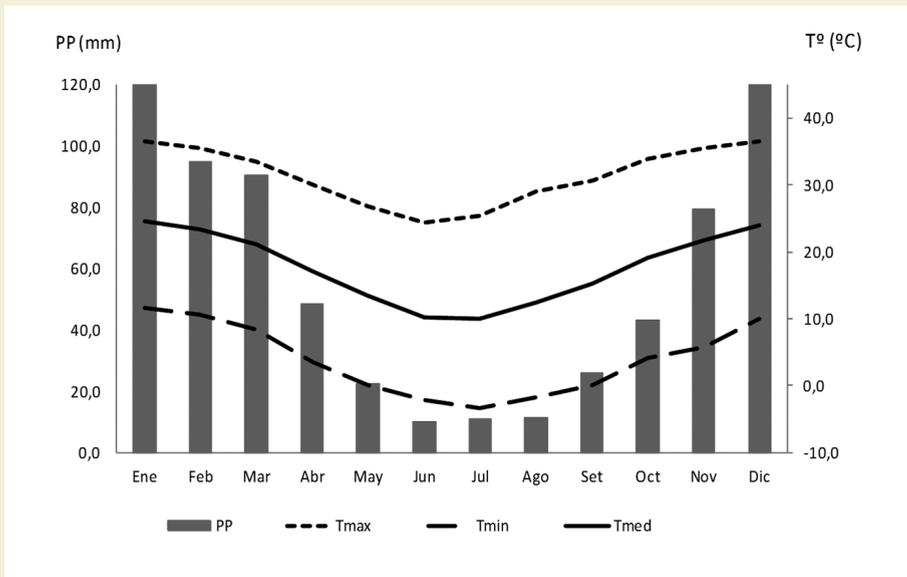
*Figure 3. Climograph of Chemical (airport), mean values period July 1970 to June 2011*



**Figura 4.** Climograma de Chepes, valores promedio período enero 1971 a diciembre 1996  
**Figure 4.** Climograph of Chepes, mean values period January 1971 to December 1996



**Figura 5.** Climograma de Villa Dolores (aeropuerto), valores promedio período julio 1970 a junio 2011  
**Figure 5.** Climograph of Villa Dolores (airport), mean values period July 1970 to June 2011



**Figura 6.** Climograma de la ciudad de San Luis (aeropuerto), valores promedio período julio 1970 a junio 2011

*Figure 6.* Climograph of San Luis city (airport), mean values period July 1970 to June 2011

los días más cálidos del verano y los más fríos del invierno (**Figuras 1 y 5**). Las menores amplitudes térmicas anuales corresponden a Chepes (**Figura 4**), aunque probablemente se deba a que los datos analizados correspondan a un período menor de tiempo (datos disponibles desde enero 1973 a mayo 1991).

Las precipitaciones medias anuales de estas localidades varían en forma decreciente a medida que nos desplazamos hacia el Oeste, aunque se aprecia cierta influencia de los cordones montañosos sobre las ciudades asentadas en los piedemontes. De esta forma pueden apreciarse mayores valores de precipitación en las localidades de San Luis y Villa Dolores, los dos con valores superiores a 550 mm anuales. Esto ocurre porque los

últimos 40 años han estado signados por un aumento en las precipitaciones, tal como analizaremos más adelante. Las localidades ubicadas en el centro de la región (Chamical y Chepes) presentan los valores más bajos de precipitación media anual, mientras que La Rioja y Catamarca, a pesar de encontrarse bajo influencia de las sierras, presentan también bajos valores (**Tabla 1**).

### Variaciones climáticas

En la **Tabla 1** es posible observar incrementos en las temperaturas medias anuales y las precipitaciones anuales promedio para todas las localidades analizadas.

Puede observarse que los cambios en las temperaturas (series históricas

vs. período 1970-2011) son positivos o se mantienen en todas las localidades. Aquellas localidades donde no se aprecian cambios importantes (Chamical y Villa Dolores) son las que no poseen registros históricos extensos, sino que abarcan períodos desde la década del 60 a la actualidad.

Los mayores incrementos sobre las precipitaciones corresponden a La Rioja y Chepes, mientras que las menores corresponden a Chamical y Villa Dolores

debido a que las series analizadas para estas últimas abarcan períodos de tiempo menores (1963-2011 y 1961-2011).

De acuerdo a los datos climáticos históricos (1931-2011) recabados de las seis localidades (S. F. V. Catamarca, La Rioja, Chamical, Chepes, Villa Dolores y San Luis), fue posible graficar el comportamiento de las precipitaciones anuales para la subregión del Chaco Árido, y a partir de esto se construyeron las tendencias para los períodos 1931-2011,

**Tabla 1.** Datos climáticos promedio históricos de las principales localidades del Chaco Árido  
*Table 1. Historical mean climatic data of the main cities of Arid Chaco*

Localidad	Coordenadas	Altitud (m)	T°med (°C)*	PPanual (mm)†	Incremento PP (%)
S. F. V. Catamarca	W 65°46' S 28°36'	519	20,9 (21,3)	434 (484)	11,5
La Rioja	W 66°49' S 29°23'	498	19,7 (20,3)	381 (441)	15,7
Chamical	W 66°17' S 30°22'	461	20,4 (20,4)	462 (485)	4,98
Chepes	W 66°36' S 31°20'	714	19,0 (19,5)	359 (411)	14,5
Villa Dolores	W 65°08' S 31°57'	525	18,9 (18,9)	657 (673)	2,44
San Luis	W 66°21' S 33°16'	713	17,3 (17,7)	616 (684)	11,0

\*Catamarca, n=74 (1931-2011); La Rioja, n=70 (1931-2011); Chamical, n=32 (1963-2011); Chepes, n=32 (1931-1996); Villa Dolores, n=34 (1961-2011); San Luis, n=78 (1931-2011). Los valores entre paréntesis corresponden a promedios del período 1970-2011, excepto para Chepes que corresponde al período 1973-1991. Existe una gran proporción de registros faltantes, especialmente en las localidades de Chamical, Chepes y Villa Dolores.

† Catamarca, n=80 (1931-2011); La Rioja, n=80 (1931-2011); Chamical, n=47 (1963-2011); Chepes, n=49 (1931-1996); Villa Dolores, n=47 (1961-2011); San Luis, n=80 (1931-2011). Los valores entre paréntesis corresponden a promedios del período 1970-2011, excepto para Chepes que corresponde al período 1970-1996.

1950-2011, 1971-2011 y 1989-2011 (**Figura 7**). Sin embargo, no fue posible hacer lo mismo para las temperaturas medias anuales debido a la irregularidad en la disponibilidad de estos datos, especialmente para el período 1931-1973. Es por esto que se graficaron por separado las series de temperaturas medias y precipitaciones para el período 1970-2011, permitiendo también un análisis más detallado de los últimos 40 años (**Figura 8**).

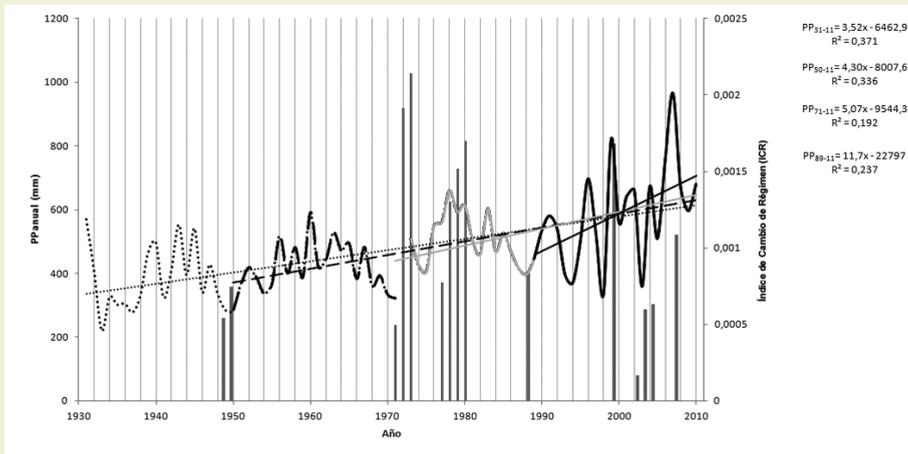
En la **Figura 7** se observan claramente cuatro ciclos de precipitación con frecuencias de aproximadamente 20 años cada uno. El análisis de la varianza ( $p < 0,05$ ) indica cambios significativos a partir de 1970. Las localidades de Villa Dolores y San Luis contaban con un promedio de precipitaciones hasta 1970 de poco más de 540 mm anuales cada una.

Los resultados del Test de Rodinov también se muestran aquí, observan-

do cambios de régimen crecientes en los años 1949, 1971, 1989, 1999 y 2002, mientras que los años 1977, 1999 y 2007 fueron decrecientes. El cambio más espectacular ocurrió en 1971.

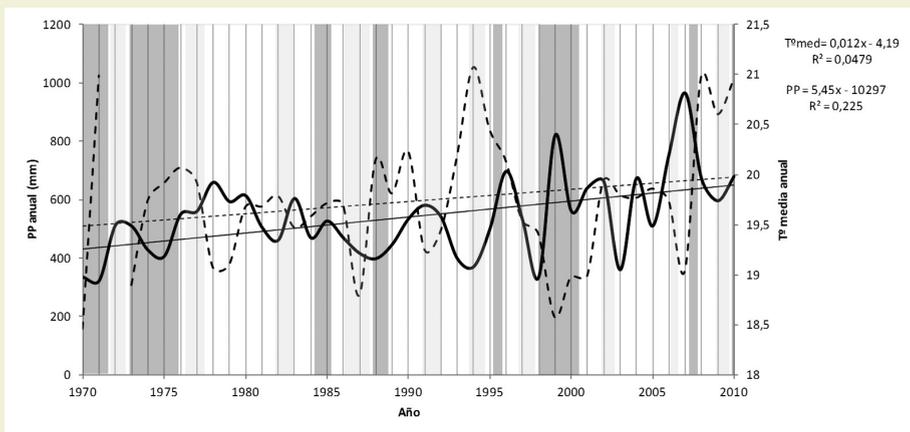
Las máximas correspondientes a cada ciclo se producen en los años 1930-31, 1943-44, 1960-61, 1978-79, 2007-08. El primero y los dos últimos episodios corresponden a eventos Niño, mientras que el resto no estaría relacionado con dicho evento. Las mínimas corresponden a los años 1933-34, 1950-51, 1971-72, 1988-89, 1998-99; exceptuando el primer evento, el resto corresponde a eventos Niña (Croley, 2000).

Además del comportamiento cíclico de las precipitaciones, puede observarse que las tendencias aumentan su pendiente en forma positiva cuando se comparan en forma bidecadal. Se observaron diferencias significativas (LSD Fisher,



**Figura 7.** Precipitaciones anuales promedio de la subregión del Chaco Árido y líneas de tendencia. Línea punteada, período 1931-2011, línea cortada, período 1950-2011; línea continua gris, período 1971-2011; línea continua negra, período 1989-2011

**Figure 7.** Mean annual precipitations of the subregion of Arid Chaco and trends. Dotted line, period 1931-2011, cutted line, period 1950-2011; continuous gray line, period 1971-2011; continuous black line, period 1989-2011



**Figura 8.** Precipitaciones anuales promedio (línea continua) y temperaturas medias anuales (línea discontinua) y tendencias para el período 1970-2011. Bandas gris claro indican episodios El Niño; bandas gris oscuro indican episodios La Niña

**Figure 8.** Mean annual precipitations (continuous line) and mean annual temperatures (dashed line) and trends for the period 1970-2011. Light gray bands indicate El Niño episodes; dark gray bands indicate La Niña episodes

$p < 0,05$ ) entre los períodos 1989-2011, 1970-1989 y 1930-1970, con medias de precipitación para la subregión de 598, 498 y 403 mm anuales respectivamente.

La variación general en precipitaciones para la región, comparando la media de la década del 30 (370 mm) con la década del 2000 (651 mm) es de 76%, es decir los incrementos promedio decadales de precipitación llegan casi al 10%. Las pendientes obtenidas de las regresiones lineales son de 3,52; 4,30; 5,07 y 11,7 para los períodos 31-11, 50-11, 71-11 y 89-11 respectivamente (**Figura 7**).

Respecto a las temperaturas medias, se aprecian diferencias significativas (LSD Fisher,  $p < 0,05$ ) entre los períodos 30-60 y 70-00, con aumento en las temperaturas medias en los últimos 40 años. Los incrementos medios de la temperatura desde la década del 30 (18,3 °C) a la década del 2000 (20,0 °C) corresponden al

9,3% de variación (+1,7 °C). Las variaciones en los últimos 30 años corresponden a una diferencia de +0,25 °C, menor a la variación media mundial para el mismo período de +0,60 °C (IPCC, 2007).

Los coeficientes de variación para  $T^{\circ}\text{med}$  y  $PP_{\text{anual}}$  son mayores en los pares de décadas 30-40 y 90-00, con valores de 8,07 y 8,20% para  $T^{\circ}\text{med}$ , y 42,9 y 43,2% para  $PP_{\text{anual}}$  respectivamente; mientras que los valores para 50-60 y 70-80 son de 7,65 y 6,73% para  $T^{\circ}\text{med}$ , y 31,8 y 32,5% para  $PP_{\text{anual}}$  respectivamente.

La regresión lineal entre  $T^{\circ}\text{med}$  y  $PP_{\text{med}}$  anuales resulta en un  $R^2 = 0,18$  ( $p < 0,05$ ), mientras que las regresiones de ambas variables con la variable ONI no arrojaron valores de  $R^2$  consistentes ( $p < 0,05$ ). Debido a las variaciones estacionales de las precipitaciones se realizó una regresión no lineal entre las precipi-

taciones y las temperaturas medias mensuales del ciclo 1930-2011, obteniendo la regresión  $PP_{\text{mensual}} = 0,670e^{0,1768T^{\circ}}$  con un  $R^2=0,56$  ( $p<0,05$ ), indicando una relación directa entre ambas variables. También se realizó una regresión no lineal entre los valores de  $T^{\circ}$  y PP correspondientes a los meses de diciembre, enero y febrero para establecer si existe alguna relación inversa entre ambas variables, como se observa en la **Figura 8**, y esto arrojó como resultado que si bien la relación es inversa, la correlación no es consistente ( $p<0,05$ ).

## DISCUSIÓN

Los resultados mostrados en la **Tabla 1** y la **Figura 7** evidencian cambios en las precipitaciones, las cuales si bien presentan un comportamiento cíclico de acuerdo a lo obtenido mediante el Test de Rodionov, muestran tendencias crecientes hasta el momento. El análisis realizado sobre las temperaturas medias anuales también muestra tendencias crecientes, especialmente posteriores a la década del 70. Las tasas crecientes de precipitaciones y temperaturas manifiestan tendencias cada vez más variables en el tiempo de acuerdo a los coeficientes de variación decadales calculados, tal como lo pronosticara el Panel Internacional sobre Cambio Climático (IPCC, 2001, 2007).

La **Figura 8** muestra las variaciones de precipitación y temperatura para el período comprendido entre 1970 y 2011, observando que las pendientes en las tendencias de cada una de las variables ( $PP_{\text{anual}}$  y  $T^{\circ}_{\text{med}}$ ) son positivas. Sin embargo, puede observarse que ambas variables se encuentran inversa-

mente relacionadas, coincidiendo con Rusticucci & Penalba (2000), quienes establecen relaciones inversas entre las temperaturas estivales y la ocurrencia de precipitaciones en el noroeste de la República Argentina, es decir, veranos con temperaturas por debajo del promedio histórico coinciden con veranos más lluviosos y viceversa. Este fenómeno se produciría como consecuencia del avance de frentes fríos del Sur, disminuyendo la temperatura del aire y provocando mayor condensación de la humedad atmosférica (Rusticucci & Penalba, 2000).

A pesar de este fenómeno, las regresiones lineales entre  $T^{\circ}_{\text{med}}$  y  $PP_{\text{med}}$  anuales no ajustan de forma importante, y tampoco lo hacen las regresiones estacionales. Sí se observa una importante relación directa entre las variables a nivel mensual, aunque esto indica simplemente que las precipitaciones ocurren en la época estival.

Dichos valores de correlación indicarían que otras variables además de las temperaturas medias serían las responsables de la cantidad de precipitación; posiblemente exista alguna influencia de la Alta Boliviana y la Corriente en Chorro de Bajo Nivel (Burgoa Mariaca, 2008).

Asimismo, el efecto del viento geostrofico y los cambios en la ubicación de los centros de alta y baja presión en esta subregión, en el Atlántico Sur y Pacífico Sur (Agosta & Compagnucci, 2006) explicarían parte de las variaciones en las temperaturas medias anuales y las precipitaciones. Según estos autores, posteriormente a 1977, los veranos húmedos estarían favorecidos por la ocurrencia de un centro anticiclónico en la tropósfera baja de la región subtropical del este de Sudamérica y un centro ciclónico en el

Pacífico Sur, lo que reforzaría el gradiente del viento geostrofico, generando una anomalía de humedad positiva sobre la subregión del Chaco Árido. En contrapartida, los veranos secos estarían propiciados por un centro ciclónico al este de la región subtropical del Atlántico y un centro anticiclónico en el Pacífico Sur, debilitando el anticiclón del Atlántico Sur y reduciendo el ingreso de masas frías desde este sector.

Otra causa de la variación de las temperaturas y precipitaciones puede deberse a eventos ENSO. Muchas de las anomalías climáticas observadas coinciden con estos eventos (**Figura 8**), aunque su influencia sobre el clima local todavía no está del todo clara. Períodos de bajas temperaturas medias y altas precipitaciones anuales estarían relacionadas a eventos El Niño, mientras que períodos de altas temperaturas medias y bajas precipitaciones anuales se relacionarían a eventos La Niña (Fernández Long *et al.*, 2008). Aunque curiosamente, el año más cálido de la serie (1994-1995), de baja ocurrencia de precipitaciones, coincide con un evento El Niño (National Weather Service, 2011).

La intensidad de los eventos poco tiene que ver con la intensidad de las anomalías climáticas en la subregión. Los eventos El Niño más intensos correspondieron a los años 1982-83 y 1997-98, de acuerdo al Índice Océanico de El Niño (ONI) (National Weather Service, 2011), aunque no se aprecian correlaciones claras sobre las variables de temperatura y precipitación en la subregión ( $p < 0,05$ ), coincidiendo con los resultados obtenidos por Compagnucci & Agosta (2008).

Podría especularse que los eventos El Niño son cada vez más frecuentes, mien-

tras que los eventos La Niña son menos frecuentes, tal como lo pronosticara el IPCC (2001), aunque dichas tendencias no están aún claras. De ser así, y observando cierta relación entre estos eventos y el clima de la subregión, es posible que las precipitaciones tiendan a aumentar en el futuro.

## CONCLUSIONES

El aumento en las precipitaciones explica en parte el avance de la agricultura y la ganadería hacia esta región en las últimas décadas. Sin embargo es necesario ser cautos en el análisis de esta variable, ya que en primer lugar esto corresponde a tendencias lineales; por otro lado este aumento puede corresponder a un incremento macrocíclico que puede revertirse en el futuro; mientras que los coeficientes de variación son cada vez mayores, lo que aumenta la probabilidad de ocurrencia de eventos extremos de sequía e inundaciones en la subregión, pudiendo afectar las condiciones de vida de la población local y la producción agropecuaria.

A pesar de las tendencias positivas en las precipitaciones, es de destacar la percepción regional de que “cada vez llueve menos” evidenciado posiblemente por la degradación de los recursos suelo y vegetación, la reducción de la cantidad de agua efectiva y el aumento en la evapotranspiración, traduciéndose en una mayor arbustización y una reducción en la disponibilidad efectiva de forraje.

No está claro todavía si el cambio climático antropogénico tiene efecto directo sobre los eventos El Niño, si bien los pronósticos de los expertos auguran para la subregión mayores precipitaciones,

aunque con períodos húmedos y secos de mayor intensidad.

## BIBLIOGRAFÍA

- AGOSTA, E. & R. COMPAGNUCCI, 2006. Atmospheric conditions during wet and dry summer extremes in Central-West Argentina. *Proceedings of 8 ICSHMO*, Foz do Iguacu. Pp.: 1439-1452.
- ALPRED, S. L., 2011. *Portal de meteorología de habla hispana*. Clima en argentina. <http://clima.tiempo.com/clima-en-America%20del%20Sur-Argentina-AG.html>.
- BURGOA MARIACA, A. W., 2008. Escenarios climáticos para el monzón sudamericano determinados por los modelos de acoplamiento del IPCC AR4. *Revista Boliviana de Física* 14: 100-115.
- CAPITANELLI, R. G., 1979. Clima. En: Vázquez, J. B.; Miatello, R. A. y Roqué, M. E. (eds.). *Geografía física de la provincial de Córdoba*. Editorial Boltdt. Pp: 45-138.
- CROLEY, T. E., 2000. *Using meteorology probability forecasts in operational hydrology*. ASCE Press. 199 pg.
- DÍAZ, R. O., 2007. *Utilización de pastizales naturales*. Encuentro Grupo Editor. 456 pp.
- DI RIENZO, J., CASANOVES, F., GONZALEZ, L., TABLADA, M., ROBLEDO, C. & M. BALZARINI, 2007. *Infostat*. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba. Software estadístico.
- FAO-AGROMETEOROLOGY GROUP, 2003. FAOCLIM 2. World Wide Agroclimatic Data Base. *Environment and Natural Resources*, Working paper No. 5 (CD-ROM).
- FERNANDEZ LONG, M. E., HURTADO, R. & L. SERIO, 2008. Señales del ENOS sobre la Región Noroeste Argentina. *Actas XII Reunión Argentina de Agrometeorología*, San Salvador de Jujuy – Argentina. Pp.: 7-8.
- IPCC, 2001. *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Cambridge University Press. 83 pg.
- IPCC, 2007. *Climate Change 2007. The physical science basis*. Cambridge University Press. 996 pg.
- KARLIN, U. O. & R. DÍAZ, 1984. Potencialidad y manejo de algarrobos en el árido subtropical argentino. SECYT, *Programa Nacional de Recursos Naturales Renovables* Vol. I: 59 pp.
- MORELLO, J., PROTOMASTRO, J., SANCHOLUZ, L. & C. BLANCO, 1985. Estudio macroecológico de los llanos de La Rioja. *Serie del Cincuentenario de la Administración de Parques Nacionales*, 5:1-53.
- NATIONAL WEATHER SERVICE, 2011. Cold and warm episodes by season. Changes to the Oceanic Niño Index (ONI), [http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml](http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml).
- PROHASKA, F. J., 1959. El polo de calor de América del Sur. *IDIA* 141: 27-30.
- RODIONOV, S. N., 2004. A sequential algorithm for testing climate regime shifts. *Geophysical Research Letters* 31, L09204: 1-4.
- RUSTICUCCI, M. & O. PENALBA, 2000. Interdecadal changes in the precipitation seasonal cycle over Southern South America and their relationship with surface temperature. *Climate Research* 16: 1-15.
- RUSTICUCCI, M. & W. VARGAS, 2002. Cold and warm events over Argentina and their relationship with the ENSO phases: risk evaluation analysis. *International Journal of Climatology* 22: 467-483.
- THORNTHWAITE, C. W., 1948. An Approach toward a Rational Classification of Climate. *Geographical Review* 38 (1): 55-94.

Recibido: 11/2011

Aceptado: 12/2012