

J. L. Minetti

J. A. González

El cambio climático en Tucumán

— Sus impactos —

Fundación Miguel Lillo
TUCUMÁN - ARGENTINA

El cambio climático en Tucumán

— Sus impactos —

Durante la década de 1950 se han observado importantes cambios en los promedios de variables climáticas en el Noroeste Argentino. Estos cambios fueron documentados debidamente en los análisis de las variables en la región y de sus impactos. Los cambios observados, simultáneos en todas las variables, han sido corroborados territorialmente en la región del NOA mediante análisis de homogeneidad relativa, y además por los impactos que éstos producían, al permitir, entre otros factores, la expansión de la agricultura sobre márgenes semiáridos. Mediante el uso de la relación estadística señal/ruido se demostró que cambios significativos en los promedios de precipitaciones anuales de series de 25 años de longitud se observaban, a partir de la década de 1950 en el NOA, como un Salto Climático (SC); esto se ha extendido al NEA y Pampa Seca durante la década de 1970, generalizándose como para pensar en un Cambio Climático (CC).

Otra variable de interés biológico donde se observó un Salto Climático en la década de 1950 en Tucumán fue la heliofanía efectiva, con un considerable aumento de la nubosidad asociada a un descenso de las temperaturas máximas y aumento en las mínimas mostrado por Vargas y Minetti (1997). El efecto del CC sobre la nubosidad y éstas sobre la temperatura no son bien resueltas aún por los modelos climáticos.

El objetivo de este trabajo es el de lograr una síntesis del conocimiento regional y local sobre los cambios de larga escala en variables de interés biológico y humano y alertar sobre los impactos en curso, como asimismo sobre la vulnerabilidad que presenta el sistema Natural-Antrópico a tales cambios.



Fundación Miguel Lillo

1 9 3 1 — 75° Aniversario — 2 0 0 6

Serie Conservación de la Naturaleza
Nº **17**

El cambio climático en Tucumán. Sus impactos

J. L. Minetti

J. A. González

Serie Conservación de la Naturaleza
Nº **17**



Fundación Miguel Lillo
1931 - 75 ° *Aniversario* - 2006

SERIE CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA

Esta serie comprende trabajos relacionados con el problema de la conservación de la flora, fauna y recursos naturales autóctonos, incluyendo lo relativo al grado de explotación y/o destrucción alcanzado y a los medios de protección proyectados o en aplicación.

I S S N 0 3 2 5 – 9 6 2 5

Minetti, J. L. y González, J. A.– EL CAMBIO CLIMÁTICO EN TUCUMÁN. SUS IMPACTOS. *Serie Conservación de la Naturaleza* N° 17.

© 2006, FUNDACIÓN MIGUEL LILLO. Todos los derechos reservados.

Fundación Miguel Lillo
Miguel Lillo 251
(T4000JFE) San Miguel de Tucumán
Argentina
Telefax +54 381 433 0868

Publicación indexada en *Biological Abstracts*, *Zoological Record*,
Periodica (México), *Biosis Previews*, *Cambridge Scientific Abstracts*

Canje / *Exchange*:
Centro de Información Geo-Biológico del Noroeste Argentino,
Fundación Miguel Lillo, Miguel Lillo 251,
(T4000JFE) San Miguel de Tucumán, Argentina.
biblioteca@lillo.org.ar

Prohibida su reproducción total o parcial.
Impreso en la Argentina.
Printed in Argentina.

EL CAMBIO CLIMÁTICO EN TUCUMAN. SUS IMPACTOS

Minetti, J. L. * y J. A. González **

(*) Laboratorio Climatológico Sudamericano, Fundación Caldenius, CONICET, Dpto. de Geografía, UNT. Roque Correa 1237, (4000) San Miguel de Tucumán. minettil@arnet.com.ar

(**) Instituto de Ecología, Fundación Miguel Lillo, Miguel Lillo 251, (4000) San Miguel de Tucumán. lirios@cgcet.org.ar

Resumen.— Se han detectado evidencias de un Cambio Climático (CC) en la provincia de Tucumán, mediante el uso de técnicas estadísticas aplicadas a variables básicas como la temperatura y la precipitación y otras derivadas como el balance hídrico. Las mismas han sido aplicadas a series climáticas confiables donde se conocen la calidad de la información mediante investigaciones previas sobre la historia de los datos y la aplicación de controles de errores sistemáticos y aleatorios entre otros. Estos cambios consistentes en aumento de la precipitación promedio de largo período, de las lluvias intensas, aumentos de la nubosidad asociado con disminuciones de las temperaturas diurnas y aumento en las nocturnas, se engloban dentro del concepto de “tropicalización del clima”. Se muestra que entre las décadas de 1950-1970 han ocurrido cambios sustanciales en los promedios de las variables que se han extendidos geográficamente en diversas regiones de Argentina, lo que hace suponer la presencia de un CC de gran escala. Se tratan de mostrar además en forma cualitativa los impactos que tales cambios producirán en los ecosistemas naturales y antropizados a los efectos de advertir tempranamente sobre ellos. Esto es importante en vista que su conocimiento es necesario para la toma de decisión por parte del Estado, o de Empresas, para la mitigación de los mismos, o toma de conciencia sobre la aplicación de políticas racionales favorables a la disminución de los niveles de vulnerabilidad del sistema.

Palabras clave: Clima, Cambio Climático, Noroeste Argentino, Tucumán, Efectos del Cambio Climático.

Abstract.— “Climatic change in Tucumán (Argentina). Its impacts”. Evidence of climatic change (CC) in the province of Tucumán (Argentina) was detected using statistical techniques applied to the analysis of temperature and precipitation data and other derived techniques like hydric balance. Statistical analysis was used in the analysis of climatic series where the quality of information is known through previous investigation regarding data history and the application of systematic and aleatory errors control among others. These changes consist of an increase of: long term average precipitation, intense rainfall and cloudy associated with decreases in daytime temperature and increases in nighttime temperatures. All these changes are included in the concept of “tropicalización del clima”. Data showed that in the decades of 1950-1970, substantial changes have happened in the mean parameters and the changes have geographically expanded in the different regions of Argentina for which, we can suppose a climatic change in a bigger scale. In this study we show the qualitative impact that climatic change will be produced on the natural and antropical ecosystems so as to early prevent about them. The knowledge of this information is important for the State or Companies to make decisions, for mitigating them, or to be fully aware about the application of favorable, reasonable policies to diminish the system vulnerability levels.

Keywords: Climate, Climatic Change, Argentinian Northwest, Tucumán, Climatic, Change Effects.

INTRODUCCIÓN

Durante la década de 1950 se han observado importantes cambios en los promedios de variables climáticas en el Noroeste Argentino (NOA). Estos cambios fueron documentados debidamente en los análisis de las variables realizadas en la región por Hoffmann (1988) Minetti (1991) y sus impactos por Minetti y Sierra (1984), Minetti *et al.*, (1982), y Minetti y Lamelas (1995).

Los cambios observados, simultáneos en todas las variables (Minetti, 1991) han sido corroborados territorialmente en la región del NOA, mediante análisis de homogeneidad relativa, y además por los impactos que estos producían, al permitir entre otros la expansión de la agricultura sobre márgenes semiáridos (Minetti y Sierra, 1984). Estos márgenes Agrícolas, del Este de las provincias del Noroeste Argentino, beneficiados por las precipitaciones abundantes también se pudieron observar sobre el margen Oeste de las agriculturas de las provincias del Noreste Argentino, Pampa Seca y Norte de Patagonia (Minetti *et al.*, 2001, Sierra *et al.*, 1994). Mediante el uso de la relación estadística señal/ruido, Minetti *et al.* (2001), demostraron que cambios significativos en los promedios de precipitaciones anuales de series 25 años de longitud se observaban a partir de la década de 1950 en el NOA como un Salto Climático (SC), esto se ha extendido al NEA y Pampa Seca durante la década de 1970, generalizándose como para pensar en un Cambio Climático (CC).

Los aspectos objetivos vinculados con los impactos generados en los cultivos regionales de Tucumán han sido tratados en caña de azúcar por Minetti *et al.* (1982), en soja por Minetti y Lamelas (1995) y en la expansión de la agricultura hacia el Este por Minetti y Sierra (1984). Algunos de estos trabajos fueron realizados usando simulaciones de rendimientos a partir de modelos empíricos de respuesta a la variabilidad climática y en otros tratando la expansión de las tierras cultivadas declaradas por los usuarios y observadas por satélites de evaluación de Recursos Naturales.

Otra variable de interés biológico donde se observó un SC en la década de 1950 en Tucumán fue la heliofanía efectiva, con un considerable aumento de la nubosidad asociada a un descenso de las temperaturas máximas y aumento en las mínimas mostrado por Vargas y Minetti (1997). El efecto del CC sobre la nubosidad y éstas sobre la temperatura no son bien resueltas aún por los modelos climáticos (Henderson-Sellers y McGuffie, 1990).

El objetivo de este trabajo es el de lograr una síntesis del conocimiento regional y local sobre los cambios de larga escala en variables de interés biológico y humano y alertar sobre los impactos en curso, como asimismo, sobre la vulnerabilidad del sistema Natural-Antrópico a tales cambios.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los datos empleados en este análisis provienen de series climáticas ya elaboradas que han tenido análisis de homogeneidad relativa-absolutas para la detección de errores sistemáticos y aleatorios, también las mismas han sido consistidas en forma interna y externa con otras variables para evitar falsas inferencias de naturaleza física acerca de un posible CC, (Hoffmann, 1970; WMO, 1966).

Las hipótesis involucradas en este análisis son las de un Salto Climático (SC) restringido en el tiempo (pocas décadas) y el espacio (una región) o la de un Cambio Climático (CC), mucho más general (muchas décadas o siglos y regionalmente más extendido sobre ambos hemisferios). Para esto se parte de definir, a) Qué es un (SC) y un Cambio Climático (CC), y los aspectos que se deben tener en cuenta para su análisis. Posteriormente se abordan los análisis sobre Argentina y Tucumán.

Para introducirse en este tema son importantes desde el punto de vista metodológico las definiciones referidas al *Clima* y *Cambio Climático*. Se define como Clima al estado medio o promedio de la atmósfera. Este término también se encuentra estrechamente ligado al de tiempo atmosférico más frecuente. Cuando nos referimos a la atmósfera hacemos referencia extensivamente a todas las variables (ie. precipitaciones, temperatura, etc.) y fenómenos observados (ie., nubosidad, hidrometeoros, etc.). Los datos de variables promediados en el largo período, suficientes como para estabilizar los promedios con un error igual o menor del 5%, ha sido tomado como recaudo en este trabajo. Esto ya constituye una discriminación entre tipo de variable de análisis y región climática. Por ejemplo, mientras que para la estimación de la temperatura media anual de cualquier región geográfica se requieren no más de 10 años de observaciones, en el caso de precipitaciones anuales el tiempo puede ser diferente. Así, en el este caso de una región hiper húmeda se necesitan 10 años de observaciones y en una árida se requiere entre 50-60 años mientras que en una semi árida alrededor de 30 años (Minetti *et al.*, 1986).

Cambio Climático es un término completamente general que abarca a todas las formas de inconstancia climática, sin tener en cuenta su naturaleza estadística o causas físicas (WMO-1966). Por las consideraciones anteriores cuando hablamos de CC en las zonas áridas de una región los promedios de precipitaciones a comparar no deberían ser menores de 30 años y en una árida no menor de 50 años. Esta prudencia es aconsejable para evitar las comparaciones entre promedios de series de datos cortas que no

representen la realidad climática del lugar bajo análisis. En algunos casos se han usado subseries de 25 años cuando en realidad se necesitaban entre 30-35 años de datos, pero la longitud de las series no permitían observar la importancia de los cambios observados en la década de 1970. Es esperable que con el correr de los años se pueda observar este cambio en forma debida cumpliendo con las exigencias del caso.

Tampoco se deben confundir los conceptos de Cambio Global (CG) con los de CC, ya que el primero, según el Instituto Interamericano para la Investigación del Cambio Global (IAI), se refiere “a las modificaciones del medio ambiente mundial, incluyendo alteraciones del clima, la productividad de la tierra, los océanos u otros recursos hídricos, la química atmosférica y los sistemas ecológicos que pueden alterar la capacidad de la tierra para sustentar la vida”, mientras que el (CC) es restrictivo al subsistema climático.

Por último, los términos, de *Discontinuidad* o *Salto Climático*, *Fluctuación Climática*, *Oscilación Climática*, *Periodicidad Climática* y *Tendencia Climática*, están indicando una inconstancia en los promedios climáticos que son englobados por el término CC. De la experiencia adquirida en el manejo de series de variables meteorológicas los cambios más importantes relacionados con el tema a tratar son dos, el de SC y el de *Tendencia Climática* (TC).

Salto Climático (SC) es un CC de corto período, dentro del tiempo cronológico en el que razonablemente, se pueda definir un estado climático de referencia para comparar con otro, de acuerdo a lo mostrado anteriormente. Además del menor período que involucra a un SC, la otra restricción que posee esto frente a un CC es la región que involucra a uno y otro. Mientras que desde el punto de vista de un análisis de escala (Orlansky, 1975 adaptado por Necco, 1980) muestra que el CC es un fenómeno de escala global, el SC puede ser ocasionalmente observado en algunas regiones y otras no, o a veces para una misma variable, algunas anomalías de un signo y su opuesto en otras regiones. En ambos casos, CC y SC están indicando que el comportamiento del sistema climático es de tipo casi transitivo (Henderson-Sellers y McGuffie, 1987), esto es un equilibrio intermedio entre un sistema estable y otro inestable.

Las metodologías de tratamiento del SC y CC recomendadas por la OMM (1966) tienen que ver con las estimaciones de TC con métodos paramétricos o no. En este trabajo se han empleado tendencias lineales o de polinomios de bajo grado, cuando las series de datos locales cumplan con las condiciones de calidad establecidas. Las variables usadas para los análisis son la precipitación y temperaturas longevas para el tratamiento de promedios cortos en subseries. En un solo caso se utilizaron variables derivadas de un balance de agua seriado puntual a los efectos de mostrar la creciente situación hídrica de los suelos que favorece a los procesos de inundación. En el caso de una discriminación espacio-temporal de las precipitaciones anuales del Noroeste Argentino, éstas fueron realizadas siguiendo el método de Lund (1969).

RESULTADOS

La región bajo estudio abarca la Argentina y países limítrofes en la escala mayor, y la provincia de Tucumán en una escala menor, según puede verse en la figura 1. Sin duda que los aspectos vinculados a los cambios de largo plazo de la precipitación han sido los más espectaculares observados durante el siglo XX en la región bajo análisis. Estos tienen que ver con el SC que se presentó en el Noroeste Argentino (NOA) en la década de 1950 pero que no se observó simultáneamente en la precipitación de Argentina, como lo mostraron Minetti y Vargas (1998).

La figura 2 muestra las isocronas de las fechas donde existe la máxima señal de cambio en la precipitación promedio y los porcentajes de cambios involucrados. La estimación de las fechas de máxima señal significativa de cambio en los promedios de subseries han sido estimada por medio de un conjunto de pruebas estadísticas, tales como las mostradas por Leith (1978), Yamamoto y otros (1985) en el caso de las relaciones entre señal/ruido y/o la clásica *prueba t* (Chatfield, 1980). Igualmente que lo propuesto por Minetti y Vargas (1998) se han tomado como señales de cambio significativo cuando estas tres pruebas daban valores significativos. En las dos primeras los cambios de señal se refieren a cambios ocurridos en los promedios de largo plazo en las variables y el ruido representa la variabilidad interanual de la misma. De las mismas se ve que el principal cambio observado en la precipitación de Argentina esta reservado para la región semi árida subtropical y se encuentra desplazado casi en una década del observado en la región más húmeda de Tucumán. Las figuras 3 a 6 muestran los cambios de largo plazo de las precipitaciones regionales de los márgenes semiáridos inestables del Este del NOA, Oeste del Noreste Argentino (NEA), Pampa Seca y Norte de Patagonia. Estos han sido estimados como tendencias de largo plazo con tendencias polinómicas de 3er. Grado y en las fluctuaciones menores con promedios móviles de 11 años. Mientras que en el Este del NOA se observa el SC tempranamente en la década de 1950 éste se generaliza en el Oeste del NEA y en la Pampa Seca hacia la década de 1970, lo que hace suponer, por la extensión del fenómeno, en un CC. En el caso de la figura 7, el nivel de relación señal/ruido igual o superior a uno indica un cambio estadísticamente significativo.

La serie de precipitación más confiable del NOA, la de San Miguel de Tucumán con sus tendencias lineal y curvilínea, se ve en la figura 8. En este caso se marcaron las dos tendencias a los efectos de mostrar el cambio en la tendencia de largo plazo de la precipitación (de negativa a positiva) ocurrida sobre la mitad del siglo pasado. El cambio en los promedios de precipitaciones entre las décadas de mediados del siglo pasado y fines del mismo es evidente y su impacto en la ocurrencia de precipitaciones de gran volumen en la misma localidad se puede ver en la figura 9. Estos aspectos de los cambios en la ocurrencia de eventos extremos con un cambio del promedio en el largo plazo han sido escasamente analiza-

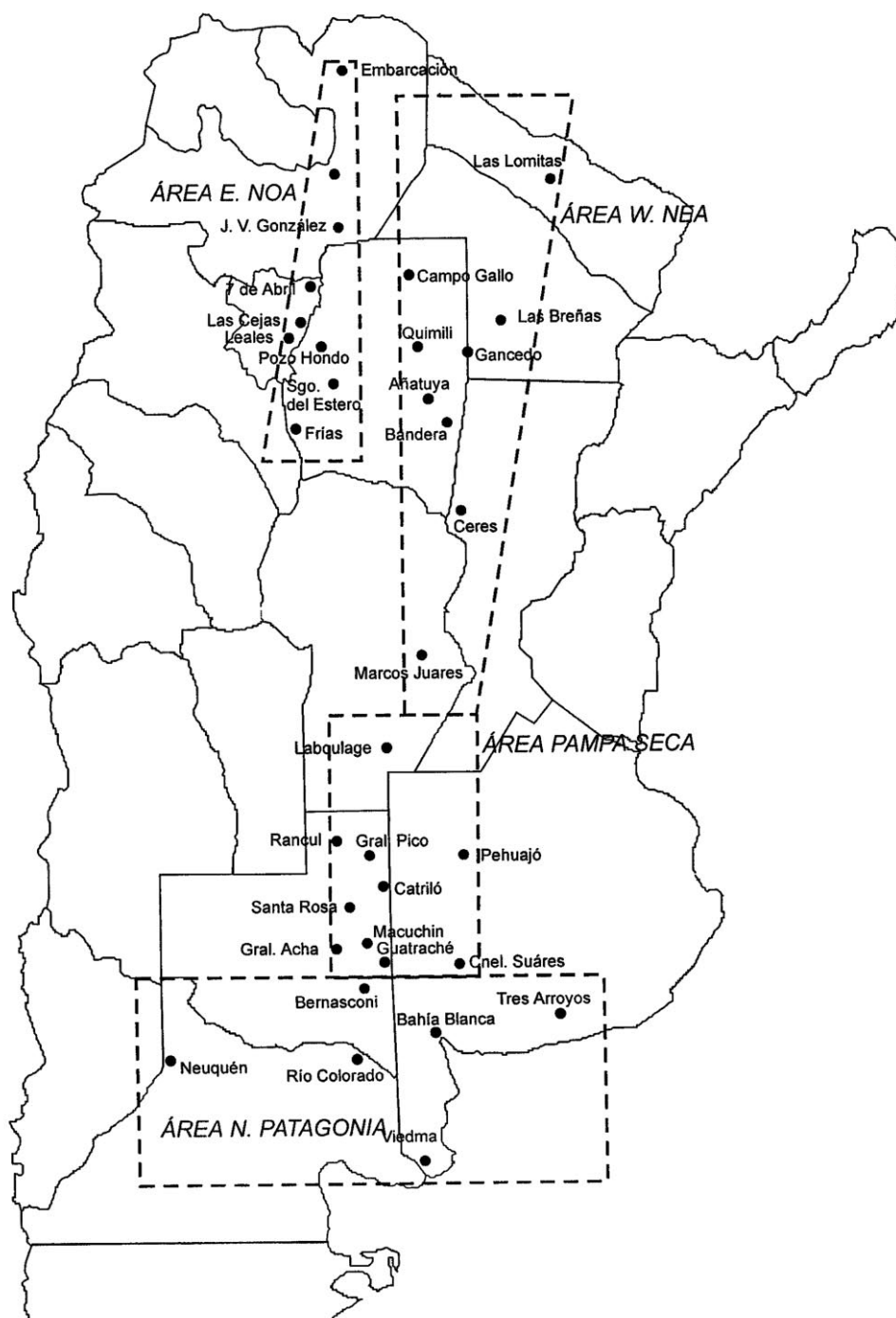


Fig. 1. Regiones de clima semiárido y seco-subhúmedo con cálculo de precipitaciones promedios regionales (Este del NOA, Oeste del NEA, Pampa Seca y Norte de Patagonia).

dos por hidrólogos que diseñan presas y movimientos de embalses a partir de las estimaciones de las lluvias centenarias o de mayor recurrencia por razones de seguridad. También ha sido escasamente tratado el problema del incremento de la erosividad de éstas combinadas con la acción antrópica. Evidencias de esto se pueden ver en el NOA ante el avance del uso del suelo por las *urbes* (ver caso del Oeste de San Miguel de Tucumán) y actividad agrícola-ganadera sobre laderas o suelos con pendientes importantes (ver caso de Metán-Salta y alrededores).

Una consulta frecuente que realizan los productores agropecuarios es sobre la posibilidad de cambios en los aportes estacionales de las precipitaciones. A modo de ejemplo, el cuadro 1 da cuenta de estos cambios en S.M. de Tucumán.

En este cuadro se muestra que existe un evidente aumento de la precipitación en la estación cálida DEFM, pero también hay evidencias de aumentos en otros períodos estacionales. El único mes que ha registrado un mayor secado es el de Agosto aunque no parece ser significativo.

La figura 10 muestra, en el caso de S.M. de Tucumán, la cantidad de meses de cada año hidrológico que alcanzaron la saturación en un balance hídrico seriado, usando una capacidad de campo de 200 mm. Esto es demostrativo que los aumentos en las precipitaciones medias ha estado influenciando en la acumulación de agua en el suelo, de tal manera que los estados de saturación sobre los meses estivo-otoñales sobre los climas húmedos del pie de cerro en Tucumán han aumentado considerablemente a ser persistentes cuatro meses o más (seis meses en el ciclo 2000-01). Una mezcla explosiva corresponde a la combinación de aumento en el estado de saturación hidrológica de los suelos y la presencia cada vez mayor de extremos de gran volumen para la generación de grandes inundaciones y remoción masiva de material sólido en laderas sobreexplotadas. Precisamente, en el último quinquenio se ha observado el mayor número histórico de daños en obras de ingeniería con destrucción de puentes, caminos y pueblos inundados o tapados por escombros y barro.

La figura 11 muestra una discriminación espacio-temporal de la variabilidad de las precipitaciones anuales en el NOA, (Minetti y otros, 2002). En ella se han caracterizado a seis tipos básicos de regímenes debido a la diversidad de geoformas que están contenidas en la región y las incidencias de éstas en las génesis de las precipitaciones. Sin embargo los dos tipos principales (los modelos 1 y 2) que responden a las variabilidades de

Cuadro 1. Precipitaciones promedios mensuales y anual de San Miguel de Tucumán, en los períodos 1911-54 (R1), 1955-2000 (R2), diferencia entre ellas DIF = (R2-R1) y diferencia porcentual DIF = ((R2-R1)/R1)100. Fuente de datos: Estación Experimental Agro Industrial Obispo Colombes.

MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	AÑO
R1 mm	169.5	147.6	141.7	58.3	27.3	16.4	7.5	11.2	9.6	56.5	96.8	134.1	876.5
R2 mm	219.7	184.5	179.8	69.3	31.0	18.2	13.6	10.9	14.3	71.3	109.1	172.8	1094.5
DIF.mm	+50.2	+36.9	+38.1	+11.0	+3.7	+1.8	+6.1	-0.3	+4.7	+14.8	+12.3	+38.7	+218
DIF.%	+30	+25	+27	+19	+14	+11	+81	-3	+48	+26	+13	+29	+25

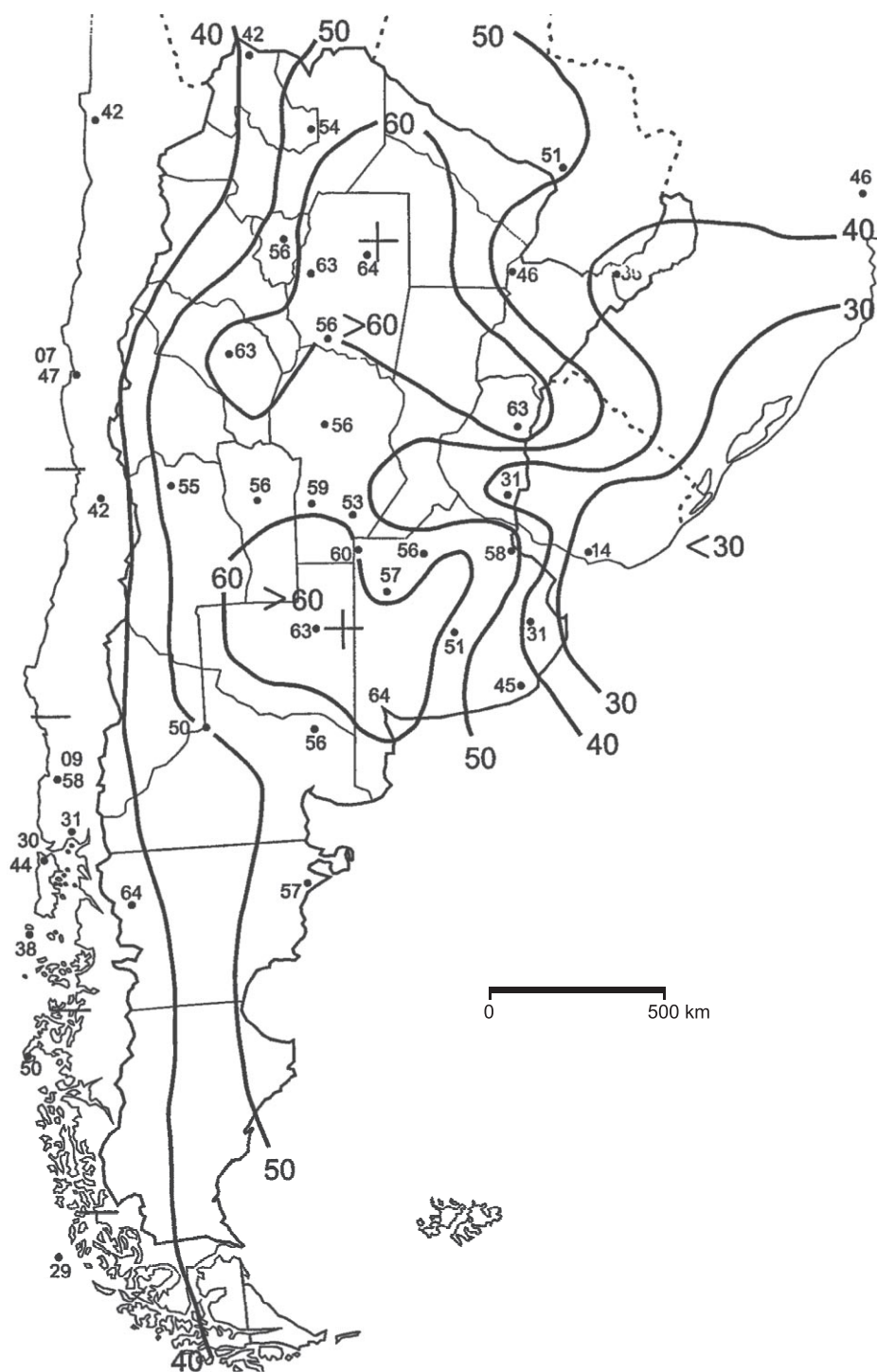


Fig. 2. Isocronas de años en los que se ha registrado el cambio principal de la precipitación media anual. A cada número se le debe sumar 1900, por ejemplo 40 significa 1940.

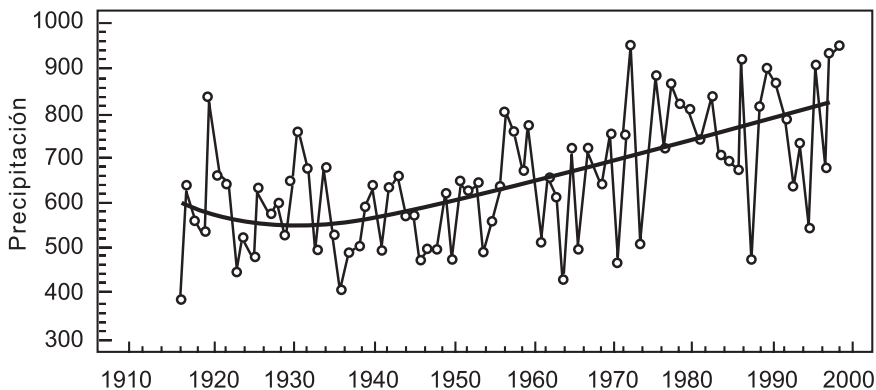


Fig. 3. Precipitación promedio de la zona este (E) del Noroeste Argentino (NOA). La línea indica la tendencia ajustada mediante un polinomio de tercer grado.

llanura o tierras bajas y los de meseta de altura, poseen el mismo tipo de tendencia de largo plazo. Esto puede verse en la figura 12. Una inferencia directa de esto es que los ecosistemas de altura están soportando una misma tendencia pluvial hacia el crecimiento de la disponibilidad hídrica.

Más al Este de la provincia de Tucumán los aumentos en la disponibilidad de agua en el suelo han contribuido al cambio de actividad humana. En este caso una vasta llanura semiárida dominada por el monte xerófito ha sido transformada, en la segunda mitad del siglo pasado, en una pradera agrícola típica de climas más húmedos (Minetti y Sierra, 1984). Por ejemplo, durante el período 1921-60 en Las Cejas (límite Este con Santiago del Estero) sólo se habían observado 13 situaciones (meses) con suelos saturados de agua (alcanzando la capacidad de campo), y 31 (más del doble) en el período posterior 1961-2000. Los impactos que esta situación ha causado en los cultivos regionales ya implantados, como la caña

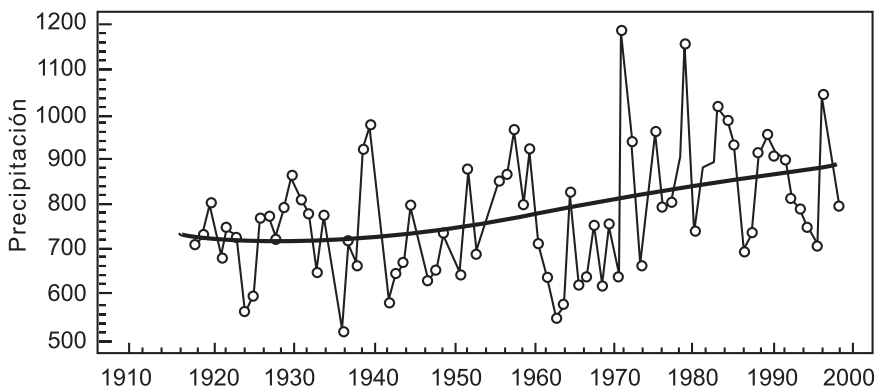


Fig. 4. Precipitación promedio de la zona oeste (W) del Noreste Argentino (NEA). La línea indica la tendencia ajustada mediante un polinomio de tercer grado.

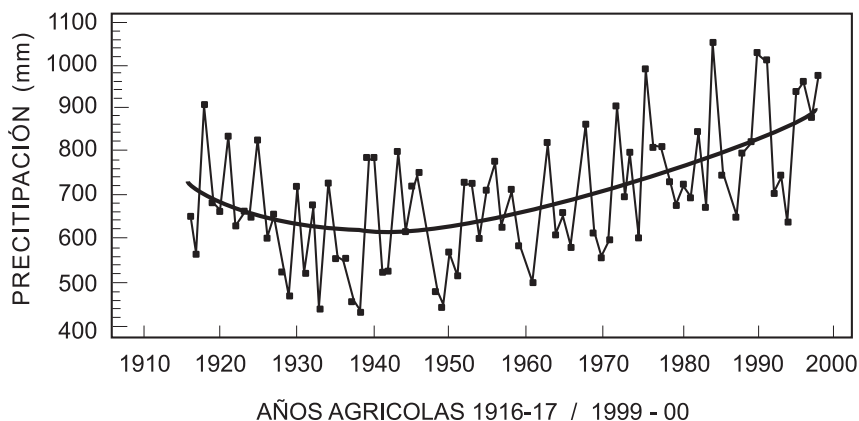


Fig. 5. Precipitación promedio de la zona de la Pampa Seca. La línea indica la tendencia ajustada mediante un polinomio de tercer grado.

de azúcar, han sido tratados por Minetti y otros, 1982 y en la soja por Minetti y Lamelas, 1995. En el primer caso un crecimiento de la condición hídrica de la zona piedemonte ha favorecido al crecimiento de biomasa de la caña de azúcar (rendimiento cultural) y el segundo la implantación y difusión de un cultivo que bajo condiciones hídricas anteriores al SC sería imposible de realizar.

El CC observado en la temperatura de San Miguel de Tucumán, es más complicado de analizar por el impacto que han recibido las series de temperaturas máximas y mínimas medias a través del tiempo por el efecto de calentamiento *urbano-industrial* (Vargas y Minetti, 1997). Las figuras 13 A, B muestran a las variaciones interanuales de las temperaturas máximas y mínimas medias en S.M. de Tucumán con sus tendencias. Ambas muestran los siguientes fenómenos de larga escala:

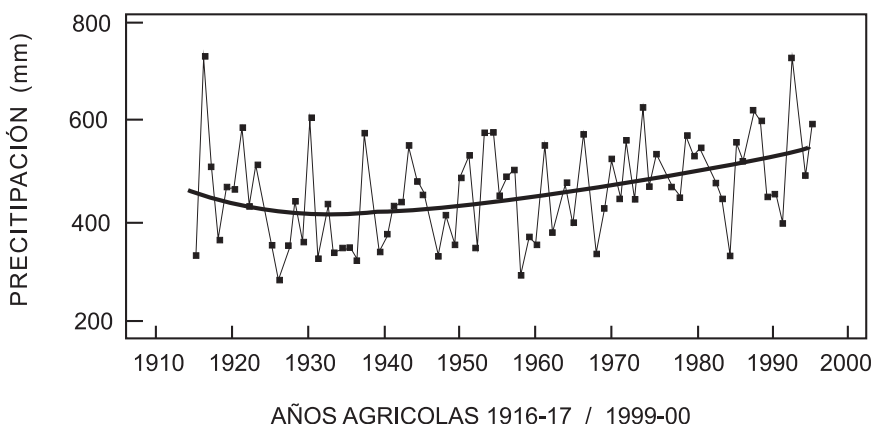


Fig. 6. Precipitación promedio de la zona Norte de Patagonia. La línea indica la tendencia ajustada mediante un polinomio de tercer grado.

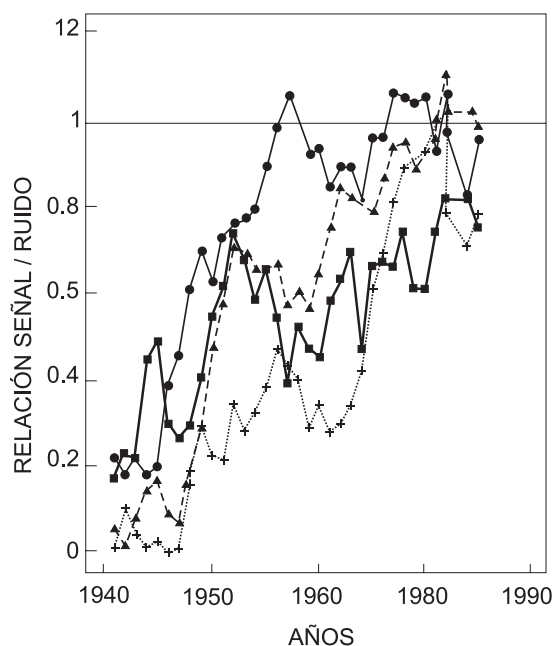


Fig. 7. Relación Señal/Ruido en precipitaciones regionales del NOA (●), NEA (+), Pampa Seca (▲) y Norte de Patagonia (■).

1) Tendencias lineales crecientes de las temperaturas mínimas (nocturnas), mayor en el invierno.

2) Tendencia creciente de las temperaturas máximas (diurnas) desde fines del siglo XIX hasta la década de 1940 y cambio de signo en la tenden-

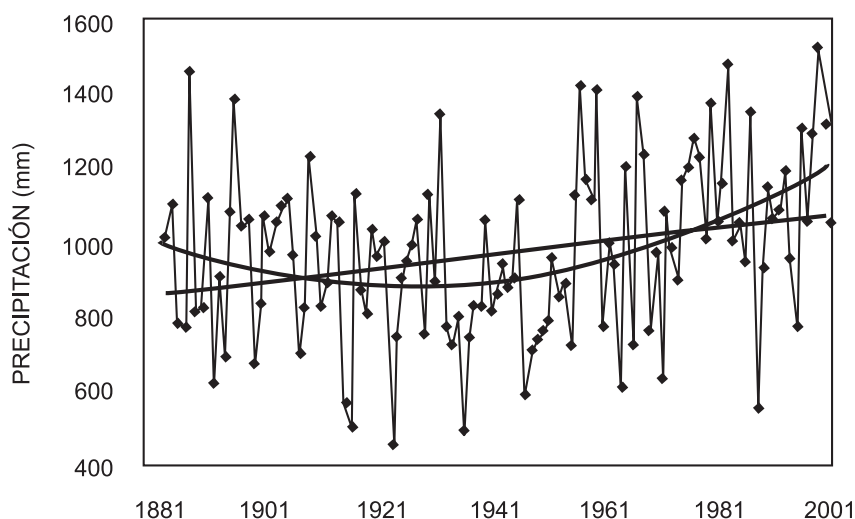


Fig. 8. Precipitación anual de San Miguel de Tucumán por año hidrológico (Julio - Junio) con su tendencia lineal y curvilínea. Los años indicados corresponden al primero de los dos semestres involucrados. Por ejemplo 1901: Julio 1901 - Junio 1902.

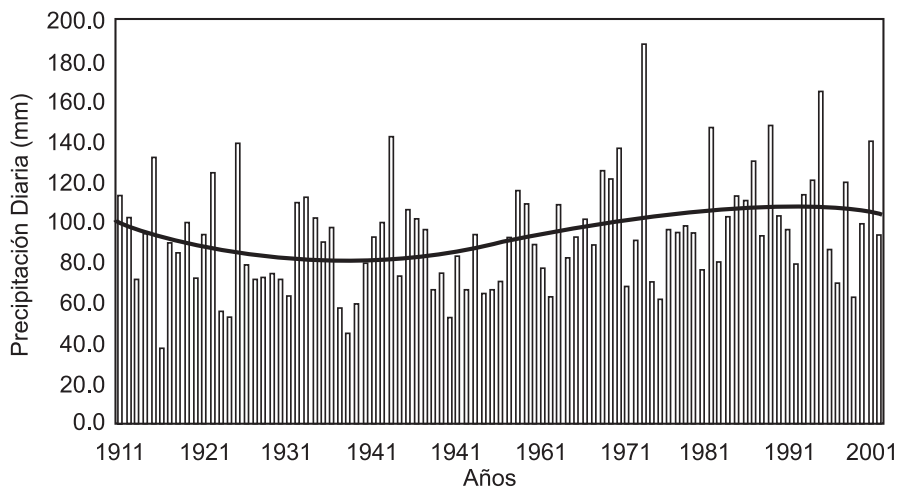


Fig. 9. Precipitaciones máximas diarias por año y su tendencia indicada por la línea sólida (polinomio de tercer grado). Período 1911-2001.

cia (decreciente) desde ese período hasta el presente, y mayor en verano.

3) Disminución de la amplitud térmica.

Es bastante amplia la literatura sobre los efectos regionales de disminución de la amplitud térmica atribuida al CC. En este caso particular, el crecimiento urbano-industrial ha incrementado adicionalmente la tendencia supuestamente global en las temperaturas mínimas. La tendencia al decre-

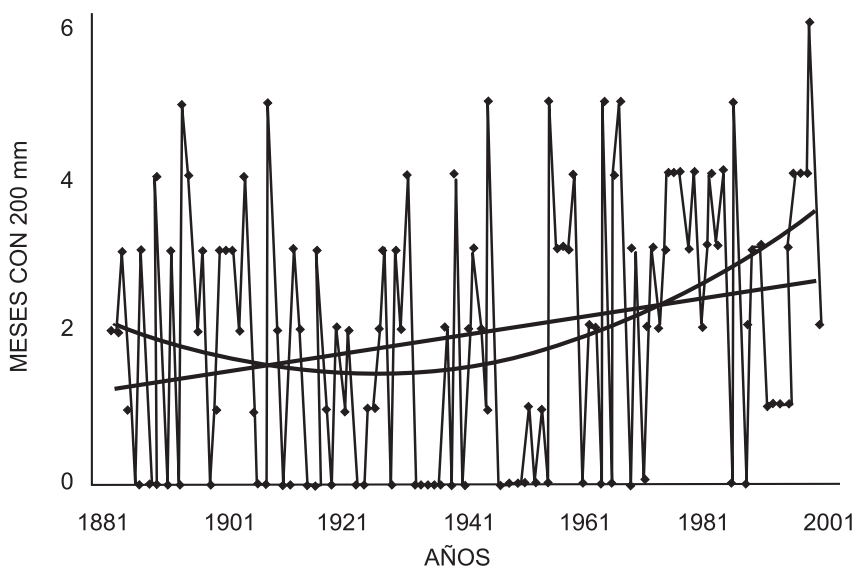


Fig. 10. Cantidad de meses al año donde el suelo alcanzó el estado de saturación con agua (Capacidad de Campo = 200 mm) en San Miguel de Tucumán con sus tendencias lineal y curvilinear. Año calendario 1884-2001.

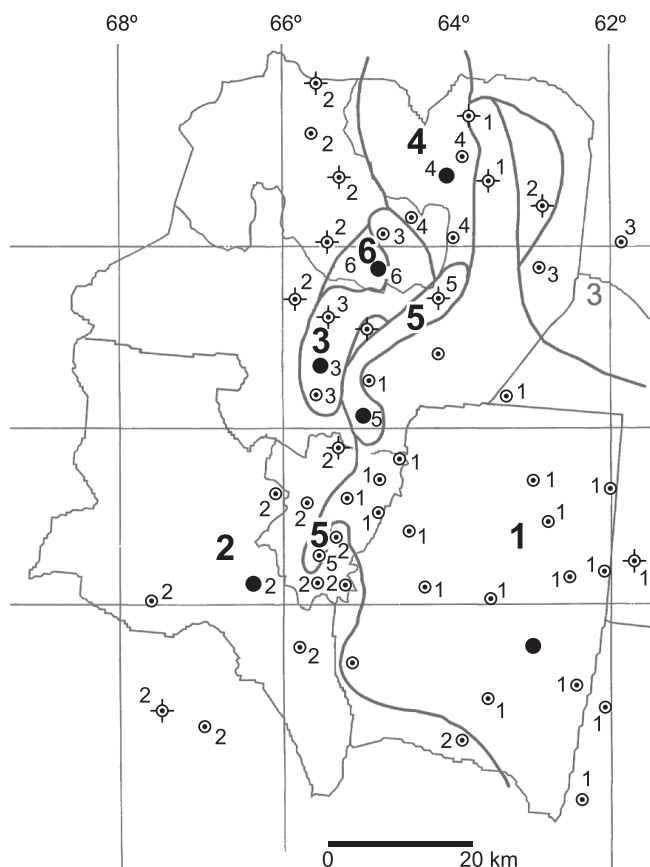


Fig. 11. Áreas homogéneas en la variabilidad espacio-temporal de la precipitación anual en el Noroeste Argentino. Se destacan los principales regímenes tipo 1 del llano Pedeserrano y tipo 2 de altura. Período 1951-1980.

cimiento de las temperaturas máximas ocurridas a partir del SC de la década de 1950 ha contribuido al incremento de la nubosidad, las precipitaciones y descenso de las temperaturas diurnas (Minetti, 1991). Esta tendencia al decrecimiento de las temperaturas diurnas es un proceso importante de regulación originado posiblemente por el incremento en la provisión de vapor del océano (fuente) hacia el continente (sumidero) realizado a través del ciclo hidrológico externo océano-continente, muy difícil de modelar.

Desde el punto de vista de los impactos sobre otras variables de interés agropecuario, el crecimiento térmico de las mínimas está asociado a una disminución de las frecuencias de ocurrencias de heladas y su intensidad con el tiempo (Minetti y otros, 1982). Impactos directos sobre cultivos de verano podrían observarse en el caso del maíz por sus mayores requerimientos de calor durante el ciclo de crecimiento, aunque esto no se ha tratado en la región.

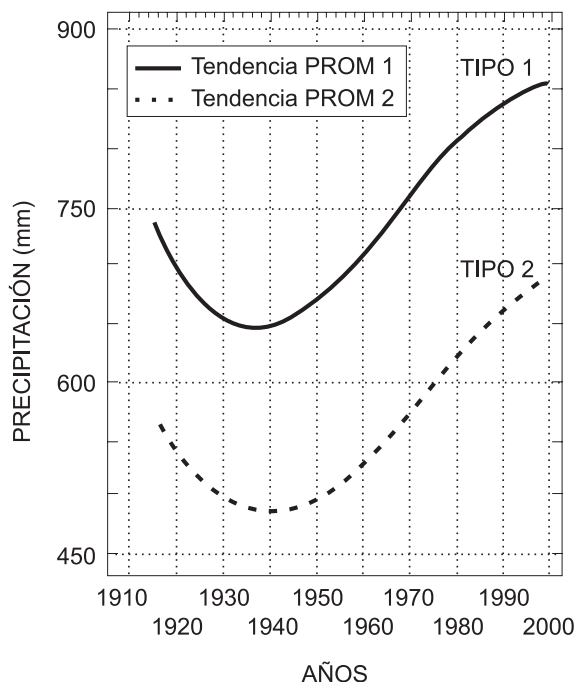


Fig. 12. Tendencia de las precipitaciones promedio anuales de las regions 1 y 2 de la figura 10. Tendencia ajustada mediante un polinomio de tercer grado.

EVIDENCIAS DE IMPACTOS DEL CC EN LA PROVINCIA DE TUCUMÁN

González y Minetti (2001) han puesto de manifiesto algunos de los problemas asociados al CC en Tucumán:

a) La expansión agrícola favorecida por el período húmedo ha contribuido a la eliminación de la superficie boscosa y herbácea, que origina la pérdida del poder regulador en el balance de energía y de agua, como asimismo la de infiltración de agua en el suelo. El Este de Tucumán transformado en una pradera agrícola soporta una elevada tasa de erosión pluvial con la generación de importantes cárcavas y pérdidas de suelo. Los suelos de la región registran una importante pérdida de nutrientes (básicamente materia orgánica, nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio, entre otros) que intervienen en la pérdida de productividad (cada año se requiere el aporte de más fertilizantes para mantener los rendimientos). En las últimas décadas se ha observado la proliferación de incendios forestales sobre el bosque subtropical, y se supone que además de la acción antrópica, el aumento de la temperatura invierno-primaveral podría contribuir a potenciar los mismos. Las imágenes satelitales muestran que sólo queda un 18% de la superficie del territorio provincial cubierta por bosques. Otros datos recientes (Gasparri *et al.*, 2004) indican que la tasa de deforestación

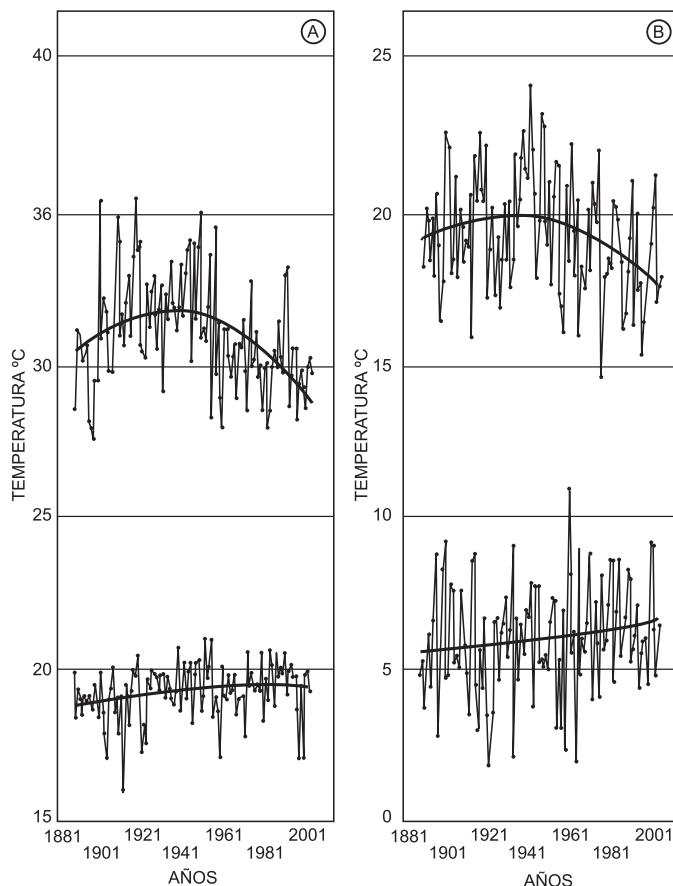


Fig. 13. Temperaturas máximas y mínimas medias mensuales de los meses de Enero (A) y Julio (B) en San Miguel de Tucumán y sus tendencias.

en Tucumán, en el período 1998 – 2002 es el triple de la calculada para el mundo, lo que significa que la tasa de deforestación de la provincia se encuentra por encima del promedio mundial. La FAO (citado por SDSyPA, 2000) indica que un territorio con menos del 25% de cobertura vegetal se puede considerar ante *inminentes peligros ambientales*.

b) La acción antrópica sobre los bosques donde se encuentran las nacientes de los principales ríos es considerable. Mediante la tala discriminada y/o indiscriminada, ya sea para realizar agricultura, ganadería, turismo u otra actividad, ha producido un aumento de la escorrentía superficial natural, que sumado al aumento de precipitaciones en promedio y las lluvias intensas, generan un cóctel explosivo para las crecientes en aumento con el tiempo, perjudicando a los asentamientos humanos del piedemonte y de la llanura. Esto ha sido muy evidente en las últimas décadas.

c) Las grandes obras públicas (diques de grandes dimensiones) y/o caminos que embalsan el agua por mucho tiempo en grandes extensiones del

territorio, generan un desbalance hídrico atmosférico y subterráneo de impredecibles consecuencias, donde el Estado no tiene la capacidad posterior de reparar el daño realizado (por ej. el impacto del dique Termas Río Hondo sobre la napa freática aguas arriba en el Dpto. Leales y la inundación de 1977).

d) El aumento de precipitaciones y humedad atmosférica conduce irremediablemente a la aparición de enfermedades como hongos y bacterias cuyos análisis en el tiempo aún no han sido debidamente evaluados (i.e. citrus y soja). Los excesos de agua han contribuido a casos de asfixia radicular, podredumbre de raíces y tallos. En algunos casos como la inundación de diciembre de 1977 en el Dpto. de Leales (donde la densidad de drenaje de la cuenca es una de las más bajas de las sub cuencas del Río Salí), las pérdidas de varios años de la producción vegetal por suelos inundados han sido notables con su correspondiente impacto en la producción ganadera.

e) En regiones donde el agua no es limitante para el crecimiento vegetal, la disminución de insolación por excesos de nubosidad habría generado una disminución en la producción de biomasa, aunque esto aún no está debidamente analizado.

f) Otros efectos tiene que ver con la probable expansión de especies vegetales en el gradiente altitudinal. Ante el CC detectado, y sobre todo ante el aumento en las precipitaciones, es posible que la formación boscosa en las montañas expanda su habitat hacia zonas más altas.

g) Otros impactos tienen que ver con el aprovisionamiento de agua potable a las poblaciones impactadas por los efectos anteriores. En efecto, si bien la disponibilidad de agua será mayor, por el aumento en las precipitaciones, la retención del agua está alterada por la eliminación de vegetación y por la erosión de los suelos.

h) Las obras públicas fueron construidas en otras condiciones climáticas: Alcantarillas, diques, sistema de riego, canales, etc., están sufriendo los efectos de un cambio en el período de recurrencia de los eventos extremos, además del envejecimiento de la infraestructura.

i) Los cambios térmicos mostrados contribuyen a los asentamientos de especies más tropicales por ausencia o disminución de frecuencias de heladas.

j) Cambios en los niveles bioclimáticos, donde disminuyeron las horas de condiciones ambientales óptimas para el confort humano, lo que aumenta el nivel de stress.

k) Las enfermedades que generan en la población las nuevas condiciones climáticas que incluyen las situaciones de desastre con pérdidas de vidas (inundaciones, tormentas severas, aluviones, etc.) que no fueron, aún, debidamente tratadas.

CONCLUSIONES

Se han detectado evidencias de un Cambio Climático en la provincia de Tucumán, incluidas dentro de una macro región más amplia dentro de Argentina. Estos cambios consistentes en aumento de la precipitación promedio de largo período, de las lluvias intensas, aumentos de la nubosidad asociado con disminuciones de las temperaturas diurnas y aumento en las nocturnas, se engloban dentro del concepto de tropicalización del clima. Estas condiciones van generando una serie de impactos poco visibles con el tiempo por la lentitud de las interacciones con el ecosistema natural-antropizado. Los mismos no han sido debidamente estudiados en algunos casos, pero pueden enumerarse y catalogarse como importantes por los procesos involucrados que deben tenerse en cuenta en una planificación de largo plazo.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue realizado con el aporte del Interamerican Institute (IAI) bajo el Proyecto RICAS (CRN # 040).

LITERATURA CITADA

- Chatfield, C. 1980. The analysis of Time Series: An Introduction. Chapman and May, London.
- Gasparri, I.; M. G. Pammuchi; E. Manghi; M. Strada; C. Montenegro & J. Bono. 2004. Mapa forestal de Tucumán. Actualización año 2002. Dirección de Bosques. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable. 27 pp.
- González, J. A. & J. L. Minetti. 2001. Probables efectos del Cambio Global en la Provincia de Tucumán. Documento de reflexión y compromiso. Versión para difusión general. Dirección de Medio Ambiente de la Provincia de Tucumán.
- Henderson-Sellers, A. & K. McGuffie. 1987. A climate modelling primer. John Wiley Sons Ltda.
- Hoffmann, J. A. J. 1970. Características de las series de precipitaciones en la R. Argentina. Meteorológica, 1, N° 3, 166-190. CAM. Bs. As.
- Hoffmann, J. A. J. 1988. Las variaciones climáticas ocurridas en la Argentina desde fines del siglo pasado hasta el presente. El deterioro del ambiente en la Argentina. 275-290. FECIC. Bs. As.
- Leith, C. E., 1978. Predictability of Climate. Nature 276, N 5686, 352-355.
- Lund, I. A. 1969. Map classification by statistical methods. J. Appl. Meteorol. 2, 56-65.

- Minetti, J. L., R. A. Neder, C. A. Gargiulo & J. C. Sal Paz, 1982. Impacto del clima sobre la producción de caña de azúcar en Tucumán. Pub. Misc. N° 72, 45-93. EEAOC. S. M. de Tucumán.
- Minetti, J. L. & E. M. Sierra, 1984. La expansión de la frontera agrícola en Tucumán y el diagnóstico climático. RIAT 61, N° 2, 109-116. S. M. de Tucumán.
- Minetti, J. L., P. M. Barbieri, M. C. Carletto, A. G. Poblete & E. M. Sierra, 1986. El régimen de precipitaciones de la provincia de San Juan y su entorno. Informe Técnico N° 8. CIRSAJ-CONICET. San Juan.
- Minetti, J. L., 1991. Estudio de las singularidades climáticas en Series de Temperaturas del Noroeste Argentino. Tesis doctoral. FCEN-Dpto. de Meteorología-UBA.
- Minetti, J. L. & C. M. Lamelas, 1995. Respuesta regional de la soja en Tucumán a la variabilidad climática. RIAT 72 (1-2), 63-68. EEAOC. S. M. de Tucumán.
- Minetti, J. L. & J. L. Minetti, 1997. Inhomogeneidades en series de temperatura del Noroeste Argentino. Meteorológica, vol. 22, N° 1, 23-34. CAM. Buenos Aires.
- Minetti, J. L. & W. M. Vargas. 1998. Trends and Jumps in the annual precipitation in South America, south of the 15°S. *Atmósfera* 11, 205-221.
- Minetti, J. L., W. M. Vargas, A. G. Poblete, G. Casagrande & L. R. Acuña. 2001. El salto climático de las décadas de 1950-60. Evidencia de un complicado proceso de Cambio Climático en la R. Argentina. VIII Congreso Argentino e Ibérico de Meteorología. Bs. As.
- Minetti, J. L., W. M. Vargas & A. A. Albarracín. 2002. La variabilidad espacio-temporal de las precipitaciones en el Noroeste Argentino. Presentado en el XXI Reunión Científica de la AAGG. Rosario.
- Necco, G. V., 1980. Curso de cinemática y dinámica de la atmósfera. EU-DEBA. 287 pgs. Bs. As.
- SDSyPA-Secretaría de Desarrollo Sustentable y Política Ambiental-Ministerio de Desarrollo Social. 2000. Documento de trabajo. Convocatoria para lograr un Marco Político Forestal Nacional en la defensa de las Masas Forestales Argentina.
- Sierra, E. M., M. Conde Pratt, S. Peres & C. Messina, 1994. Variaciones del régimen de precipitaciones y del área cultivada con granos en la Argentina. AADA. Córdoba.
- World Meteorológica Organization, 1966. Climatic Change. Technical Note N° 79. Geneve.
- Yamamoto, R. T., T. Iwashima, S. N. Kadi & M. Hoshiai, 1985. Climatic Jump: A Hipotesis in Climate Dagnostic. *J. Met. Soc. of Japan* 63, 1157-1160.

ÍNDICE

Resumen / Abstract	5
Introducción	7
Materiales y métodos	8
Resultados	10
<i>Evidencias del impacto del cambio climático</i> <i>en la provincia de Tucumán</i>	19
Conclusiones	22
Agradecimientos	22
Literatura citada	22

Se terminó de imprimir en el mes de diciembre de 2006
en ARTES GRÁFICAS CRIVELLI.
Caseros 1551, (A4400ABE) Salta, Argentina.
Tirada: 500 ejemplares.