

CAMBIO CLIMÁTICO Y AMENAZAS AMBIENTALES EN EL ÁREA METROPOLITANA DE TUCUMÁN

José M. SAYAGO^{1,2}, Mirian M. COLLANTES¹, Liliana del V. NEDER¹ y José BUSNELLI^{1,2}

¹ Instituto de Geociencias y Medio Ambiente (INGEMA). Universidad Nacional de Tucumán. E-mail: sayagojm@infovia.com.ar

² CONICET

RESUMEN

La variabilidad espacial y temporal de los efectos del calentamiento global aconseja aplicar la perspectiva regional en la predicción de sus impactos sobre el paisaje natural y las comunidades. En este trabajo se presenta una aproximación metodológica preliminar, cuyos fundamentos son: a) la reconstrucción paleoclimática regional y la determinación de escenarios extremos de cambio climático; b) la evaluación de amenazas ambientales generadas en cada escenario; c) el desarrollo de planes de alerta temprana y prevención de riesgos. Mediante la reconstrucción paleoclimática regional en tres escalas temporales (centenal, milenaria y el Holoceno) se identificaron dos escenarios extremos de cambio climático (húmedo y seco). La periodicidad de ENSO (El Niño/La Niña) en la región, sumado a la influencia de los cambios paleoclimáticos de los últimos milenios en la dinámica ocupacional de las comunidades agroalfareras permitió una aproximación a los posibles impactos futuros. Se dividió el área metropolitana de Tucumán en unidades de relieve, subdivididas en unidades menores según el uso del suelo (urbano, suburbano y rural). En cada escenario de cambio climático, unidad de relieve y uso del suelo se evaluaron las principales amenazas generadas por los extremos de variabilidad climática. Para cada amenaza ambiental, es posible desarrollar planes alerta temprana, protección o mitigación. Esta primera aproximación espacial podrá ser mejorada cuando la complejidad de la información colectada permita una valoración cuantitativa, a mayor escala, mediante información satelitaria y los sistemas de información geográfica.

Palabras clave: *Cambio Climático, escenario seco y húmedo, riesgos geoambientales, alerta temprana, mitigación.*

ABSTRACT: *Climate change and environmental hazard at the Metropolitan Area of Tucumán.* The present paper discusses the type and intensity of environmental hazards affecting the urban conglomerate of Greater San Miguel de Tucumán in the presence of future climatic changes. The steps required for making regional predictions as regards their impact on superficial geodynamics are described on the basis of the poor reliability of global models and on the marked spatial variability influencing natural or anthropized landscape. The significance of paleoclimatic reconstructions is stressed as an expression of the prevalent regional environmental conditions in the past, free of anthropogenic influence. The data is analyzed at three levels of temporal resolution (the last decades, the last millennium, and the Holocene period). The first level discusses inter-annual variability and “El Niño-La Niña” Southern Oscillation effects on the generation of morphodynamic processes negatively affecting the metropolitan area of Tucumán. The millenarian climatic variability analysis stresses the environmental changes influencing regional agro-pottery cultures and the extreme humid-arid climatic conditions during the Holocene period associated to paleoedaphic development and loess deposition. Consequently, two potential scenarios for climatic change are described, characterized by definitely more humid conditions or by marked aridity. The metropolitan area was divided into seven geo-morphological units. Matrices were elaborated so as to perform qualitative assessment of the potential intensity of each environmental hazard on every extreme scenario for climatic change and under different conditions of soil-use (urban, suburban, and rural). In brief, this proposal constitutes a preliminary approximation to the characterization of the future effects of climatic change with the purpose of contributing to the development of early alert, prevention, and/or mitigation programs.

Keywords: *Climatic change, dry and wet scenario, geoenvironmental hazard, early alert, mitigation.*

INTRODUCCIÓN

El conglomerado urbano del Gran San Miguel de Tucumán refleja los conflictos y desafíos que afectan sin excepción a todas las grandes urbes de nuestro planeta y que adquiere dramática gravedad en el

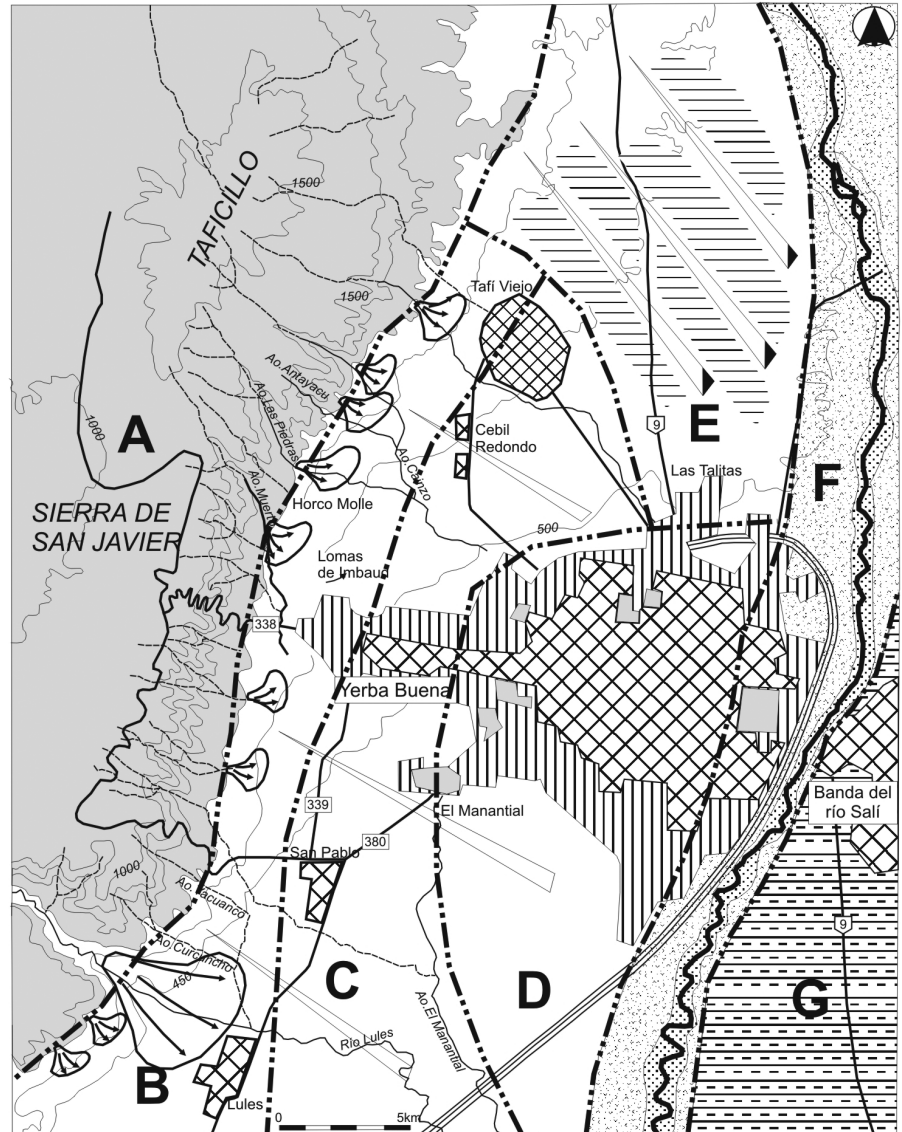
mundo subdesarrollado. El crecimiento demográfico y urbano, anárquico e irrestricto, sumado al deterioro medioambiental, representan facetas, tal vez menores, de la grave crisis social que afecta a las áreas urbanas y periurbanas, constituyendo un ejemplo paradigmático de la

situación en las restantes ciudades de la región (Fig. 1). Sin embargo, este cuadro podría agravarse frente a los futuros cambios climáticos globales cuyos efectos negativos -derivados de drásticas modificaciones en la geodinámica superficial- incidirían especialmente en las áreas urba-

nas marginales, carentes de infraestructura y servicios. Predecir con exactitud sus efectos exigiría conocer la compleja trama de interrelaciones existentes entre la atmósfera, los océanos, la geodinámica superficial y los diversos usos del espacio urbano y la dinámica poblacional, fuera de nuestro alcance a la luz de la información disponible. Sin embargo, prevenir o atenuar el impacto de tales cambios sobre el paisaje y las comunidades constituye un imperativo prioritario, teniendo especialmente en cuenta el carácter catastrófico que podrían alcanzar. En el presente trabajo se analizan los factores y mecanismos del cambio climático global y se propone una aproximación metodológica basada en los eventos climáticos extremos acaecidos en la región, analizados con una resolución temporal multianual, secular y milenaria, valorando cualitativamente la intensidad de los riesgos naturales en diferentes ambientes geomorfológicos y usos del suelo, información que coadyuvaría en la generación de acciones de mitigación y alerta temprana.

La region metropolitana de San Miguel de Tucumán

La región urbana de San Miguel de Tucumán es el principal centro poblado del noroeste de Argentina (Fig. 1) y cuarto de Argentina. Esta constituida por varios municipios (San Miguel de Tucumán, Yerba Buena, Tafi Viejo, Las Talitas, Alderetes y Banda del Río Salí). La Ciudad-centro San Miguel de Tucumán es la más poblada (526.000 habitantes en 2001), que con los municipios aledaños conforman actualmente un área metropolitana con una población cercana al millón de habitantes, esparcida sobre la llanura pedemontana y parte de los cordones preandinos del noroeste argentino. El clima es estacionalmente contrastado, con un invierno templado y seco (junio a setiembre, 10-14°C) y un verano cálido y húmedo (Diciembre a Marzo 24-26°C). Las precipitaciones anuales fluctúan entre 900 y 1.200 mm/año (80-85% en verano) presentando una marcada variabilidad interanual. Como otras ciudades de



REFERENCIAS

Unidades Geomorfológicas

- A. Maciso antiguo fracturado y elevado
- B. Relieve de cuesta fracturado y disecado
- C. Glacis de erosión proximal
- D. Glacis de erosión distal
- E. Glacis cubierto antiguo disecado
- F. Valle fluvial del río Salí
- G. Planicie fluvio-eólica

Rasgos Geomorfológicos

- Abanicos aluviales
- Glacis de Erosión
- Glacis cubierto
- Nivel disecado
- Llanura de inundación
- Planicie Fluvio-eólica
- Terrazas fluviales

Expansión Urbana

- Área antes 1970
- Área después 1970

Topografía

- Curvas de nivel
- Río principal
- Rutas Nacionales y provinciales
- Límite unidad Geomorfológica

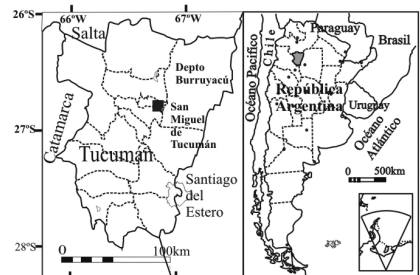


Figura 1: Croquis geomorfológico del área metropolitana de Tucumán.

América del Sur, el crecimiento demográfico se intensificó durante las últimas décadas (Fig. 1) motivado en gran medida por la crisis de la actividad rural, provocando la migración de los campesinos hacia las grandes ciudades (Laymont 2006). Este explosivo crecimiento urbano se manifiesta en una serie de riesgos ambientales y sociales (inundación, contaminación hídrica, sequías, polución atmosférica, pobreza, etc.) facilitado por la insuficiente planificación urbanística y la crisis económica que afectó a la Argentina en la década del 90. A los riesgos ambientales propios del espacio urbano, se suman aquellos originados en las áreas de relieve montañoso que rodean a Tucumán por el Oeste y Norte (Fig. 1), primitivamente cubiertas por el bosque nublado subtropical y en la actualidad afectada por la deforestación y la urbanización incontrolada. Este cuadro de pobre calidad de vida, posiblemente se agravará frente a la perspectiva de los futuros cambios climáticos globales, que afectarán con mayor intensidad a los estratos sociales más pobres, especialmente vulnerables a los riesgos geoambientales.

El marco geomorfológico

El área metropolitana de Tucumán se ha desarrollado en la transición entre dos grandes espacios geográficos, la llanura chaqueña occidental (integrante del Gran Chaco sudamericano) y los cordones preandinos del noroeste Argentino. La sierra de San Javier situada al oeste (Unidad A), cubierta por el bosque nublado de Las Yungas, constituye el área generadora de numerosos ríos de régimen torrencial, cuyos derrames estivales afectan a las ciudades situadas en el piedemonte (Fig. 1). Este cordón constituye la prolongación boreal de las Sierras Pampeanas, reflejando en su morfoestructura de plataforma, el típico estilo tectónico pampeano (marcadas pendientes al oeste, una suave pendiente de reverso al Este y una superficie cumbre aplanada). La porción norte de la sierra pasa transicionalmente hacia un estilo de plegamiento característico del ambiente subandino (Mon y Mansilla

1998). En el área cumbre y laderas de la sierra se ubican edificaciones residenciales, generalmente afectadas por procesos de remoción en masa, facilitadas por las precipitaciones estivales y la inestabilidad del sustrato loésico. El piedemonte de este cordón (Unidad B), está constituido por un relieve de cuesta desarrollado sobre un sustrato terciario adosado al basamento precámbrico, cuya cubierta clástica holocénica permite adjudicarle el carácter de glacis cubierto, siguiendo la terminología europea. Numerosas edificaciones residenciales, susceptibles a la remoción en masa y a un moderado riesgo sísmico, cubren un relieve colineado cubierto parcialmente por el bosque subtropical. El piedemonte se prolonga hacia el Este con el carácter de una llanura suavemente inclinada (menor 5%) correspondiente a un glacis de erosión (subdividido en proximal y distal) desarrollado sobre los sedimentos loésicos de edad pleistocena tardía y holocena (Unidad C), sobre el cual durante los últimos 20 años se ha producido la expansión urbana de mayor nivel económico, a expensas de terrenos antaño cultivados con caña de azúcar o citrus. Por carecer de drenajes adecuados, durante las fuertes lluvias de verano este sector es afectado por anegamiento o inundación pluvial. El centro urbano de San Miguel de Tucumán (Unidad D) ocupa la parte distal del piedemonte de las Sierras del Oeste y la margen derecha del valle del río Salí. Con un relieve plano a suavemente inclinado hacia el sureste, los mayores riesgos ambientales están representados por limitaciones geotécnicas derivadas de la presencia del sustrato loésico, sumado a la inundación pluvial (anegamiento) en los distritos de bajo nivel económico, situados al Sur. Hacia el Norte, sobre un relieve colineado cuyo sustrato terciario truncado corresponde a un antiguo nivel de glacis (Unidad E) se han desarrollado barriadas de clase media baja que alternan con espacios rurales, remanentes de las antiguas áreas de cultivos citrícolas y de caña de azúcar, cuyos principales riesgos ambientales son los flujos

torrenciales provenientes de las áreas más elevadas situadas al Oeste y Norte. El valle fluvial del Río Salí (Unidad F) presenta moderado riesgo de inundación fluvial debido a la existencia de un embalse (El Cadilla) situado 10 km aguas arriba, aunque durante periodos de intensas precipitaciones se inunda la terraza baja, generalmente ocupada por viviendas precarias pertenecientes a los estratos sociales más pobres. En la margen izquierda del río Salí (Unidad G) se extiende un conglomerado urbano relativamente pobre, llamado Banda del Río del Salí, desarrollado sobre la llanura chaqueña occidental constituida por un sustrato loésico sobre la cual ha migrado el río Salí durante el Holoceno medio y superior. Los principales riesgos geoambientales son la inundación fluvial y pluvial y la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas producidos por los efluentes domésticos, industriales y agrícolas.

LOS CAMBIOS CLIMÁTICOS GLOBALES

Los cambios climáticos producto del llamado efecto invernadero constituyen uno de los acontecimientos más traumáticos en la historia de la especie humana. El continuo incremento del volumen del dióxido de carbono atmosférico, metano, óxido nítrico y clorofluorocarbonos, producto de la actividad industrial, la deforestación o los incendios forestales entre otras causas, ha iniciado un proceso de calentamiento global que puede alcanzar en las próximas décadas entre un 1,5°C y 6,5°C, con una duplicación del contenido de CO₂ en la atmósfera (Panel Intergubernamental de Cambio Climático, IGPCC 2007). En síntesis, los hechos que objetivamente prueban el inevitable incremento del calentamiento global (si los países industrializados no reducen drásticamente las emisiones de gases de invernadero), son entre otros: a) Aumento en la temperatura global de 0,6°C durante la última centuria (IGPCC 2007); b) Retroceso general de los glaciares de montaña y clara deglaciación de los hielos polares; c) Significativo impac-

to del calentamiento global en poblaciones de plantas y animales, lo que podría provocar cambios en las comunidades y posiblemente extinciones (Root *et al.* 2003); d) Las temperaturas de la última centuria fueron las más elevadas dentro del último milenio (Crowley y Lowery 2000); e) Los registros de temperaturas geotérmicas globales de los últimos 500 años, reconstruidas a partir de perforaciones en la corteza terrestre, se incrementaron dramáticamente durante la última centuria (Huang *et al.* 2000); f) El nivel actual de gases de invernadero, es el máximo registrado en el Polo Norte en los últimos 200.000 años (Crutzen y Golitsyn 1992) y en los últimos 800.000 años en el Polo Sur (EPICA, 2004, Loulerge *et al.* 2008, Lüthi *et al.* 2008).

Las predicciones sobre los cambios climáticos futuros

Las actuales predicciones sobre cambios globales de temperatura y precipitación, efectuados por los centros de investigación de mayor prestigio, se basan en general en modelos de simulación combinados con las actuales observaciones climáticas. Al respecto, las predicciones relativas al incremento de temperatura global con una duplicación de las emisiones de CO₂ muestran un cuasi lineal crecimiento anual de aproximadamente un 1% que alcanzaría en este siglo entre 1,5 y 6,5°C (PICC 2007) lo cual asigna a las predicciones un carácter marcadamente aleatorio de cara al futuro. Teniendo en cuenta que como expresa Pierrehumbert (2002), el clima es un *pas des deux* entre el Dióxido de Carbono y el agua, los cambios espaciales en la distribución de la precipitación (pluvial y nival) derivados del calentamiento global, constituyen uno de los problemas más complejos a resolver. Los modelos más confiables expresan en síntesis que habrá un fuerte incremento de precipitación cerca del Ecuador, alguna reducción en las regiones de subsidencia subtropical y un consistente incremento en las latitudes medias (Allen e Ingram 2002). Tanto la marcada generalización temporal como la

pobre resolución espacial de estos modelos, muestran la necesidad de predicciones a nivel regional. Así, la gran variabilidad climática del territorio argentino, extendido entre latitudes tropicales y subpolares, exige un análisis regional de los futuros cambios y, especialmente, de sus efectos sobre el paisaje natural y los centros urbanos. Por caso, en la fachada subtropical húmeda de los cordones preandinos y la llanura chaqueña occidental en el noroeste, un aumento de lluvias implicaría un crecimiento de los riesgos de inundación, remoción en masa y elevación de las napas subterráneas, mientras que una disminución pluvial tendría consecuencias en la disponibilidad de agua para consumo e irrigación, aumento de la polución atmosférica e incremento de tormentas de gran energía y corta duración, entre muchos otros efectos. El problema se vuelve más complejo en las áreas urbanas donde la relación infiltración-escorrentía ha sido completamente modificada por los cambios artificiales de las primitivas líneas de avenamiento (segado, modificación y desvío de cauces, construcción de canales, etc.), sumado a la impermeabilización de extensas áreas y la elevación de napas por infiltración de efluentes domésticos. En suma, la predicción de los efectos de los cambios climáticos sobre la geodinámica superficial a nivel regional, constituyen una información esencial para establecer programas de contingencia que contribuyan prevenir o atenuar los efectos negativos de tales cambios.

El pasado como clave del futuro

A la pobre resolución temporal y espacial de los modelos predictivos globales, se suman las limitaciones derivadas de los registros instrumentales modernos que cubren una centuria o menos, lo cual restringe la comprensión de la variabilidad climática regional al mezclar respuestas naturales y antropogénicas. “Solo la visión del pasado permite reconocer y entender que el cambio climático es el efecto acumulado de mecanismos causales que operan en cortas y largas escala de

tiempo” (*Global Environmental Change* 1999). Ello explicaría la importancia creciente de las reconstrucciones paleoclimáticas como expresión de condiciones ambientales que dominaron en el pasado en la región, con nulas o débiles influencias antropogénicas, permitiendo recrear los ritmos y ciclos naturales del clima. En tal sentido, el más destacable y serio efecto a largo plazo del cambio climático, no se ve reflejado por los cambios en los promedios de temperatura y precipitación, sino en eventos extremos como tormentas, sequías, olas de calor, inundaciones, incendios (Delmónaco *et al.* 1999). A su vez, los científicos sociales han explorado los impactos de la variabilidad climática en los registros históricos y arqueológicos y la influencia humana en la modificación de los ecosistemas terrestres (*Global Environmental Change* 1999).

LOS CAMBIOS CLIMÁTICOS DEL PASADO EN LA REGIÓN TUCUMANA

La región tucumana se caracteriza por una marcada variabilidad interanual en el régimen pluvial como se observa en la figura 2. Durante las tres últimas décadas del siglo XX un aumento del 30% en las lluvias, transformó la llanura oriental tucumana -anteriormente cubierta por el bosque chaqueño occidental- en un área de intensa actividad agrícola. Las consecuencias de este abrupto cambio en el uso de la tierra, en suelos con limitada aptitud para la agricultura, fueron un progresivo deterioro de sus características físicas, químicas y biológicas (Bergsma y Neder 2006), que aunque enmascarado en parte por el intensivo uso de agroquímicos, se enfrentan en el corto a mediano plazo a un futuro productivo no sustentable. Adicionalmente, la población rural que habitaba desde épocas inmemoriales el bosque chaqueño, ocupa actualmente el cinturón de villas de emergencia en las grandes ciudades de la región. El citado incremento pluvial se tradujo también en la intensificación de los procesos de erosión y remoción en masa

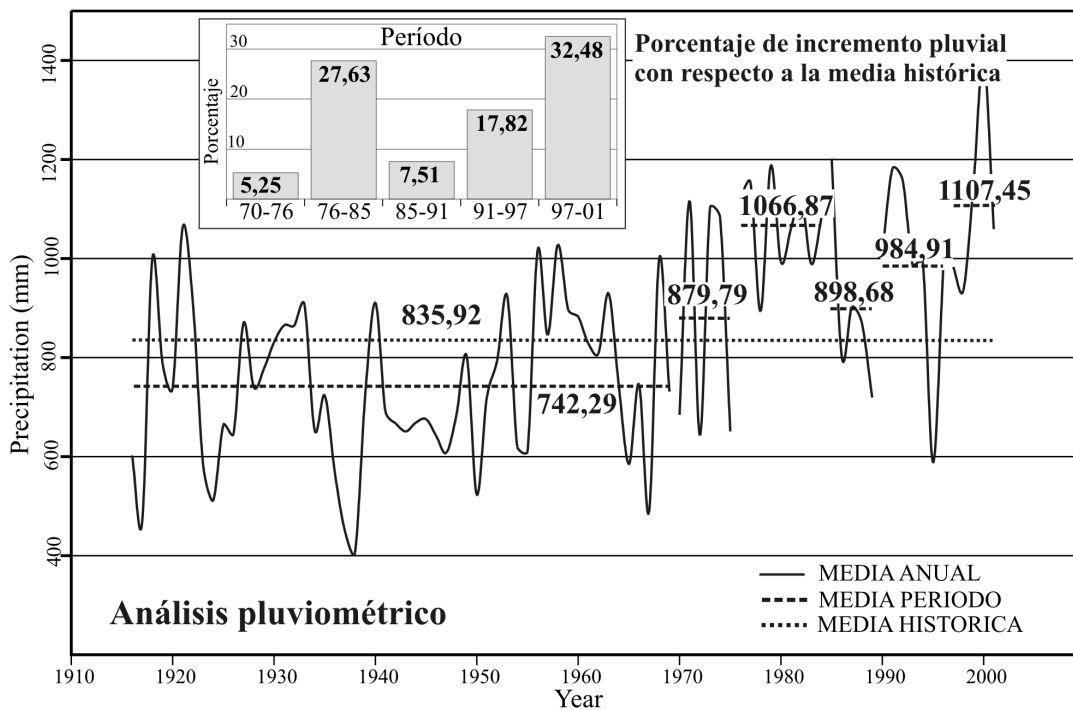


Figura 2: Variabilidad interanual en el régimen pluvial de la región tucumana (tomado de Busnelli et al. 2006).

en los valles de altura y el piedemonte de los cordones de Aconquija y Cumbres Calchaquíes, incrementando la torrencialidad y el transporte de sedimentos, produciendo sedimentación en los cauces y embalses de la llanura tucumana, la elevación de la napa freática y la salinización de los suelos en la llanura deprimida, a lo cual se sumo el generalizado incremento del riesgo de inundación estacional por elevación de las llanuras de inundación (Sayago y Toledo 2000).

El Niño Southern Oscillation (ENSO)

Uno de los avances importantes en la predicción de fenómenos climáticos con una antelación significativa, es el alcanzado con el fenómeno ENSO (*El Niño Southern Oscillation*). Este fenómeno climático que afecta irregularmente (con intervalos de 3-7 años) al Océano Pacífico Ecuatorial y produce marcadas perturbaciones en el clima global, aparece como uno de los sistemas climáticos más sensibles al calentamiento global. Producto de la atenuación de los vientos alisios sobre el Pacífico Ecuatorial y el consecuente reflujó y calentamiento de las aguas oceánicas en el Pacífico oriental. El Niño provoca abundantes precipitaciones sobre la costa pe-

ruana-ecuatorialiana y otros lugares del planeta e intensas sequías en el Pacífico occidental, afectando también a extensas regiones de sudamérica (Dawson y O'Hare 2000). Durante la fase La Niña se produce, por el contrario, un generalizado enfriamiento del Pacífico Ecuatorial con reforzamiento de la circulación anticiclónica, provocando sequías sobre la costa sudamericana e intensas lluvias en Australia e Indonesia. *Contrario sensu* a lo que ocurre en el litoral sudamericano, durante la fase El Niño el noroeste argentino presenta condiciones de sequía, mientras que durante la fase fría La Niña, coincide con un aumento de las precipitaciones en muchos casos de inusual intensidad. Esta inversión en el comportamiento de ENSO justifica también la necesidad de un marco regional en la valoración de fenómenos como *El Niño Southern Oscillation* que constituye uno de los pocos sistemas climáticos con capacidad predictiva confiable. En efecto, mediante un sistema de monitoreo (*ENSO Observing System*) es posible controlar en tiempo real numerosos parámetros climáticos y oceánicos, permitiendo monitorear la temperatura oceánica y predecir el comportamiento del clima con meses de antelación, a condición de conocer las particu-

laridades regionales de este fenómeno. Por caso, durante el último gran El Niño (1997/98) una grave sequía afectó severamente la producción agropecuaria del noroeste, mientras por el contrario La Niña (1999/2000) se caracterizó por lluvias de extraordinaria intensidad que afectaron a los principales centros urbanos, destruyendo la infraestructura vial y afectando severamente la producción agrícola.

Cambio climático y ocupaciones humanas en los últimos milenios

La historia de las ocupaciones humanas durante el Holoceno Superior destaca dos periodos cuyas condiciones climáticas afectaron positiva y negativamente a las ocupaciones humanas. Desde aproximadamente 3000 AP se inicia en la región un periodo húmedo que coincide aproximadamente con la expansión de las culturas agroalfareras durante el llamado Período Formativo. En los valles áridos de Hualfín, el Bolsón y Santa María, (actualmente inaptos para la agricultura por limitaciones hídricas y térmicas) y en los valles de altura de Tafí, Las Estancias y Ambato, se destaca la aparición de un grupo de culturas caracterizadas por el excelente manejo de suelo y agua y una importante pro-

ducción agraria (González y Nuñez Regueiro 1960, Heredia 1975, Raffino 1988, Sampietro Vattuone *et al.* 2003). El incremento hídrico en las regiones áridas del oeste se correlacionó con un aumento de las precipitaciones en la fachada oriental de los cordones de Aconquija, Cumbres Calchaquies y Sierras Subandinas, evidenciado en las potentes secuencias detríticas pedemontanas que acompañan a dichos cordones (Sayago *et al.* 1991, Collantes 2001). Sin embargo, a finales del primer milenio, una intensa sequía provoca la desaparición o migración de los pobladores agroalfareros hacia las regiones más húmedas situadas al Este, posiblemente en busca de mayor disponibilidad hídrica (Sayago *et al.* 2002). De acuerdo a evidencias palinológicas el climax de aridez se alcanza en 875 AP, coincidente con el periodo medieval cálido europeo, a partir del cual y hasta el presente, dominan en los valles y bolsones áridos las especies xéricas pertenecientes a la fisonomía del monte o espinal (Caria y Garralla 2003). Este acontecimiento hiperárido en el noroeste descrito como “silencio arqueológico” en la figura 3, coincidente con un incremento térmico en el norte de Europa, lo cual facilitó la expansión vikinga y poblamiento de Groenlandia, constituye una seria advertencia de cara al futuro de la región por la posible repetición de un periodo de extremada aridez en la costa pacífica de América coincidente con un calentamiento del clima (Stine 1998). Durante los periodos culturales desarrollos regionales, inca e hispano indígena y la colonización española, se produce un aumento de las precipitaciones, traducidas en el desarrollo de paleosuelos en la llanura chaqueña occidental (Sayago *et al.* 2005), coincidente con la Pequeña Edad de Hielo. La bonanza climática en la llanura tucumana tuvo su contrapartida en el incremento de las inundaciones en la fachada y piedemonte oriental de los cordones preandinos, circunstancia que explica el traslado de San Miguel de Tucumán, desde su primitivo emplazamiento en Ibatín a la vera del río Pueblo Viejo, hasta su actual ubicación. Durante el Holoceno,

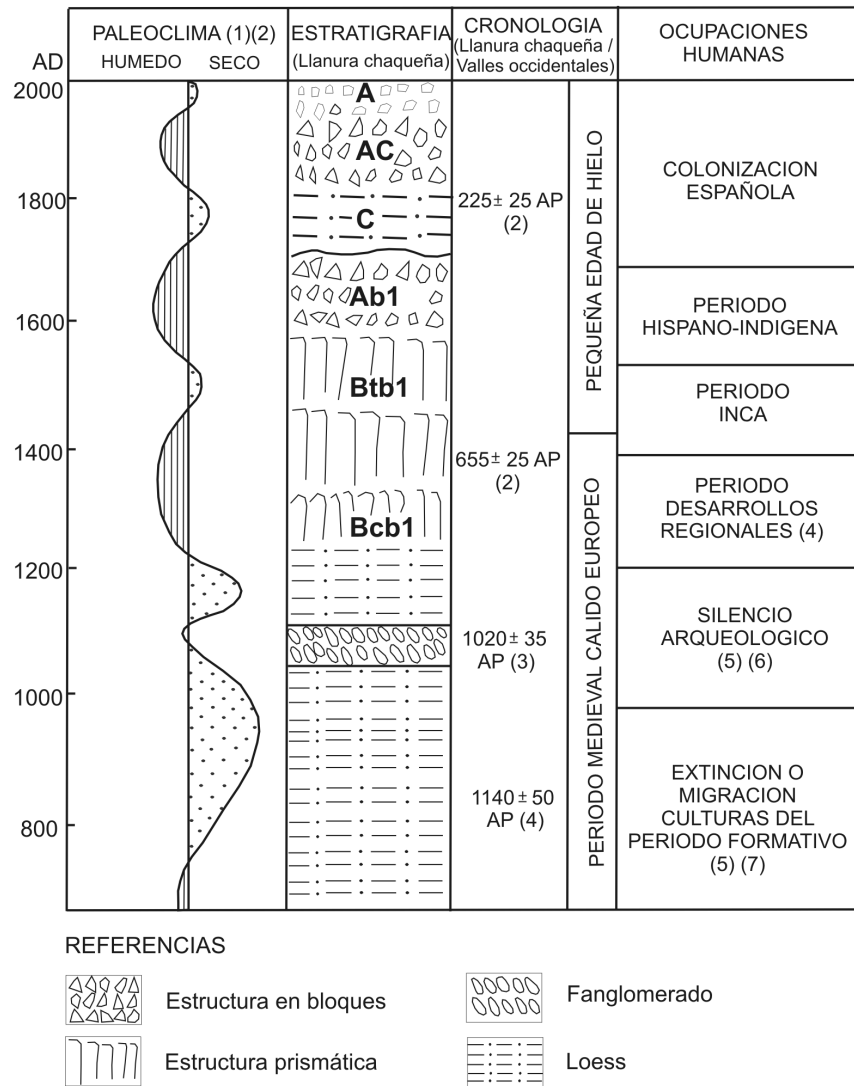


Figura 3: Evolución paleoambiental y ocupaciones humanas durante el último milenio en la llanura chaqueña occidental y los valles preandinos (Sudamérica subtropical). (1) Prieto *et al.* (1997), (2) Sayago *et al.* (2005), (3) Caria y Garralla (2003), (4) Berberian *et al.* (1998), (5) Sayago *et al.* (2003), (6) Raffino (1998), (7) González (1999).

la región subtropical del noroeste argentino se caracterizó por una marcada variabilidad climática (especialmente en la llanura chaqueña occidental donde se ubica el área metropolitana de Tucumán), reflejada en secuencias de loess y paleosuelos, representando cortos intervalos extremadamente áridos y relativamente fríos con depositación loésica, alternantes con periodos más prolongados, suficientemente húmedos como para desarrollar horizontes paleoedáficos, con una recurrencia temporal similar a los ciclos Dansgaard-Oescher (Zinck y Sayago 2001, Sayago *et al.* 2005, 2006). En suma, los extremos de

riabilidad climática detectados en las reconstrucciones paleoambientales en tres escalas de resolución temporal (multianual, centenaria y milenaria) muestran que los contrastes climáticos en la región tucumana fluctuaron entre condiciones definitivamente húmedas y otras con un claro predominio de la aridez, afectando tanto el paisaje rural como a las áreas pobladas.

MÉTODOS

La aproximación metodológica sintetizada en la figura 4 se fundamenta en tres aspectos principales: a) la reconstrucción

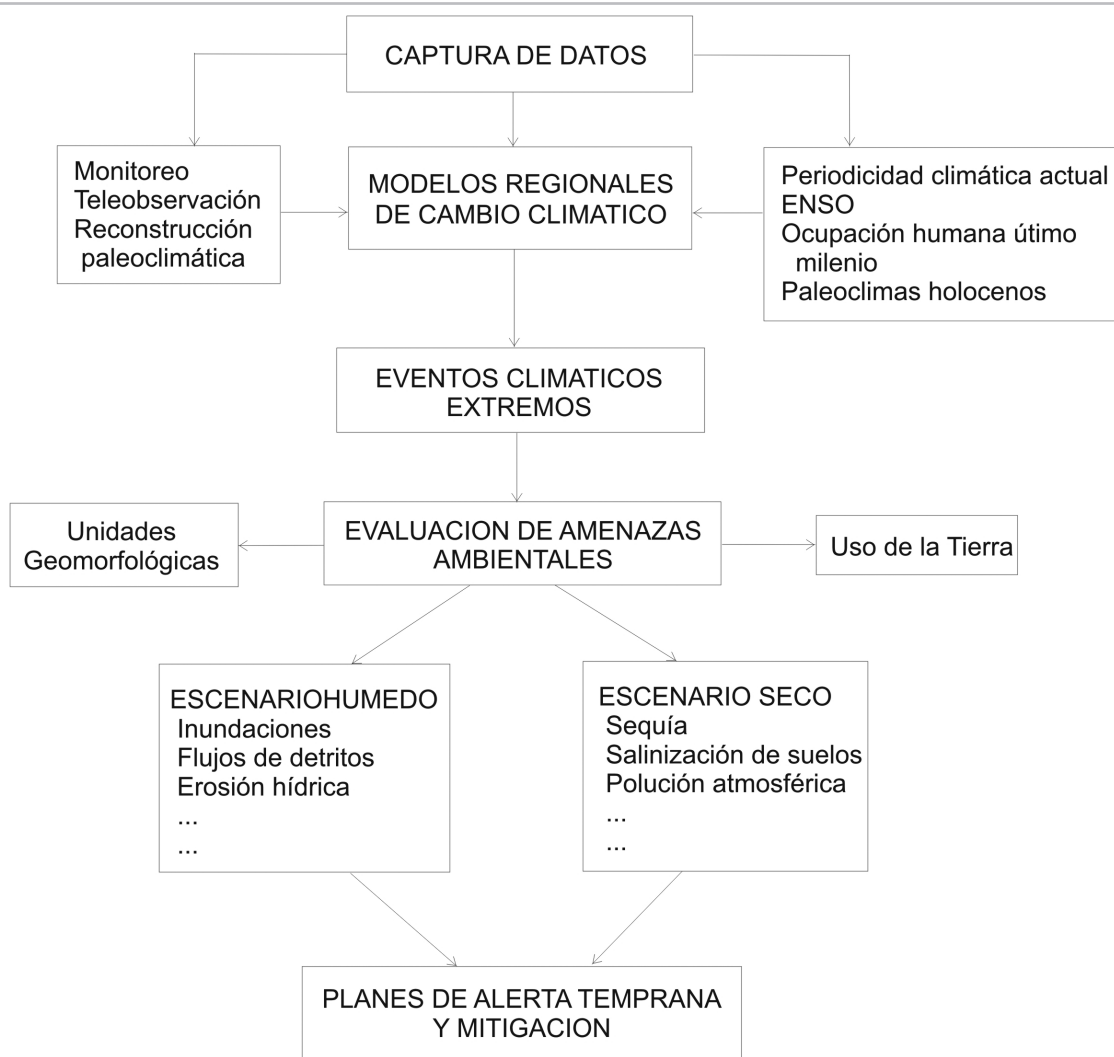


Figura 4: Esquema metodológico.

paleoclimática regional y la determinación de escenarios extremos de cambio climático; b) la evaluación de amenazas geoambientales que se generen en cada escenario; c) el desarrollo de planes de alerta temprana y prevención de riesgos. Desde que las tendencias climáticas futuras son un tópico de difícil evaluación debido a la complejidad del sistema terrestre y el gran número de variables que influyen sobre la circulación atmosférica y oceánica, la determinación en una región de eventos climáticos extremos en el pasado -cuyos efectos impactaron negativamente sobre los seres humanos y el paisaje natural- permitiría la definición de posibles escenarios futuros de cambio climático (Delmonaco *et al.* 1999). Así, el conocimiento de los extremos de variabi-

lidad climática regional y la evaluación de sus impactos negativos biofísicos o socioeconómicos, permitiría elaborar programas de contingencia, de alerta temprana y acciones de prevención o mitigación.

Evaluación de amenazas ambientales

Los procesos generados por los climas del pasado (cercano y lejano), desde eventos de fuerte impacto social y económico como los detectados en las últimas décadas en la región, hasta fenómenos de carácter catastrófico (que en el pasado provocaron la migración de comunidades humanas o produjeron la extinción de una mega fauna a principios del Holoceno), reflejan los posibles extremos de variabilidad climática regional. Los procesos que se analizan son de ori-

gen natural, aunque potenciados por la acción antrópica en el último milenio y que han actuado sobre las ocupaciones humanas, infraestructuras o directamente sobre las personas. En el presente trabajo se considera amenaza geoambiental todo proceso natural que, potenciado por la influencia antrópica, pueda generar efectos perjudiciales traducidos en pérdidas humanas, económicas o naturales y cuya valoración es posible mediante metodologías científicas o criterios empíricos. En esta primera etapa de nuestra aproximación metodológica, los conceptos de riesgo y vulnerabilidad, no se consideran debido a la variedad de procesos involucrados y la complejidad de las situaciones sociales y económicas del área metropolitana. Sin embargo, en la valora-

ción de la intensidad que pueda alcanzar una amenaza el componente antropogénico esta siempre presente. Por caso, en la valoración del peligro de contaminación hídrica en un sistema fluvial es igualmente importante el tipo y recurrencia de la fuente contaminante como la influencia del clima en la descarga y la periodicidad del muestreo. Considerando que la unidad geomorfológica constituye el elemento o unidad básica para la clasificación y valoración del paisaje natural (Sayago 1982), se dividió la superficie ocupada por el conglomerado urbano del Gran San Miguel de Tucumán en siete unidades de relieve (Fig. 1). Las clases de uso del suelo urbano (urbano, suburbano y rural) constituyen subunidades dentro de cada unidad geomorfológica. La clase de uso urbano está constituida por unidades o sectores en los que entre el 90 al 70 por ciento del terreno esta cubierto por construcciones habitacionales o infraestructura vial o ferroviaria y el resto por espacios verdes. En la clase suburbana se consideran los terrenos constituidos entre el 70 y hasta 20 % de construcciones e infraestructura y el resto terrenos no urbanizados, espacios verdes o rurales. Finalmente, el uso del suelo rural incluye los terrenos constituidos por entre 20 y hasta 5 % de edificaciones y el resto terrenos no urbanizados, zonas de recreación, áreas protegidas, áreas naturales y áreas cultivadas. Para cada escenario de cambio climático se construyeron matrices (Cuadros 1 y 2), valorando en cada unidad geomorfológica y clase de uso del suelo el tipo e intensidad de las amenazas ambientales. En cada unidad de relieve se asigna una calificación (bajo, medio, alto, muy alto) a la mayor intensidad que podría alcanzar un proceso bajo un determinado escenario, valoración que se fundamenta en relevamientos ya efectuados en el area por el grupo de trabajo y los antecedentes bibliográficos existentes, sumado a controles expeditivos en el terreno y la consulta a informantes calificados. Si bien la valoración de la intensidad de amenaza constituye una primera aproximación cualitativa a la predicción de los

CUADRO 1: Escenario húmedo.

REFERENCIAS	Clases Uso del Suelo Urb. Urbano Sub. Suburbano Rur. Rural	Intensidad Amenaza 1. Bajo 2. Medio 3. Alto 4. Muy alto	AMENAZAS AMBIENTALES													
			Aumento inundaciones en ríos y canales	Aumento sedimentación en ríos y canales	Destrucción infraestructura urbana por inundación pluvial	Aumento erosión lateral de cauce	Aumento remoción en masa	Aumento inundación pluvial (anegamiento)	Elevación napa freática	Contaminación aguas subterráneas por efluentes domiciliarios	Subsidencia edilicia por elevación de napas	Aumento contaminación ríos y canales por efluentes domiciliarios	Aumento efluentes industriales	Aumento erosión hídrica	Aumento contaminación hídrica por basurales	Aumento área con freática arsenical
A. Maciso antiguo fracturado y elevado	Sub. 1-2 Rur. 4	Sub. 1-2 Rur. 4	Sub. 1 Rur. 4	Sub. 1-2 Rur. 4	Sub. 3 Rur. 4	Sub. 3 Rur. 4	Sub. 3 Rur. 4	Sub. 3 Rur. 4	Sub. 3 Rur. 4	Sub. 3 Rur. 4	Sub. 3 Rur. 4	Sub. 3 Rur. 4	Sub. 3 Rur. 4	Sub. 3 Rur. 4	Sub. 3 Rur. 4	Sub. 3 Rur. 4
B. Relieve de cuesta fracturado y disecado	Sub. 3-4 Rur. 4	Sub. 3-4 Rur. 4	Sub. 3-4 Rur. 4	Sub. 4 Rur. 4	Sub. 3 Rur. 4	Sub. 3 Rur. 4	Sub. 3 Rur. 4	Sub. 3 Rur. 4	Sub. 3 Rur. 4	Sub. 3 Rur. 4	Sub. 3 Rur. 4	Sub. 3 Rur. 4	Sub. 3 Rur. 4	Sub. 3 Rur. 4	Sub. 3 Rur. 4	Sub. 3 Rur. 4
C. Glacis de erosión proximal	Urb. 4 Sub. 4 Rur. 4	Urb. 4 Sub. 4 Rur. 4	Urb. 4 Sub. 4 Rur. 4	Urb. 3 Sub. 3-4 Rur. 4	Urb. 2 Sub. 2 Rur. 3	Urb. 4 Sub. 3 Rur. 2-3	Urb. 4 Sub. 3 Rur. 2-3	Urb. 4 Sub. 3 Rur. 2-3	Urb. 4 Sub. 3 Rur. 2-3	Urb. 4 Sub. 3 Rur. 2-3	Urb. 4 Sub. 3 Rur. 2-3	Urb. 4 Sub. 3 Rur. 2-3	Urb. 4 Sub. 3 Rur. 2-3	Urb. 4 Sub. 3 Rur. 2-3	Urb. 4 Sub. 3 Rur. 2-3	Urb. 4 Sub. 3 Rur. 2-3
D. Glacis de erosión distal	Urb. 4 Sub. 4	Urb. 4 Sub. 4	Urb. 4 Sub. 4	Urb. 2 Sub. 2	Urb. 2 Sub. 2	Urb. 4 Sub. 4	Urb. 4 Sub. 4	Urb. 4 Sub. 4	Urb. 4 Sub. 4	Urb. 4 Sub. 4	Urb. 4 Sub. 4	Urb. 4 Sub. 4	Urb. 4 Sub. 4	Urb. 4 Sub. 4	Urb. 4 Sub. 4	Urb. 4 Sub. 4
E. Glacis cubierto antiguo disecado	Sub. 2 Rur. 3	Sub. 2 Rur. 3	Sub. 2 Rur. 3	Sub. 2 Rur. 3	Sub. 3 Rur. 3	Sub. 3 Rur. 3	Sub. 3 Rur. 3	Sub. 3 Rur. 3	Sub. 3 Rur. 3	Sub. 3 Rur. 3	Sub. 3 Rur. 3	Sub. 3 Rur. 3	Sub. 3 Rur. 3	Sub. 3 Rur. 3	Sub. 3 Rur. 3	Sub. 3 Rur. 3
F. Valle fluvial del río Saí	Urb. 4 Sub. 4 Rur. 4	Urb. 4 Sub. 4 Rur. 4	Urb. 4 Sub. 4 Rur. 4	Urb. 4 Sub. 4 Rur. 4	Urb. 4 Sub. 4 Rur. 4	Urb. 4 Sub. 4 Rur. 4	Urb. 4 Sub. 4 Rur. 4	Urb. 4 Sub. 4 Rur. 4	Urb. 4 Sub. 4 Rur. 4	Urb. 4 Sub. 4 Rur. 4	Urb. 4 Sub. 4 Rur. 4	Urb. 4 Sub. 4 Rur. 4	Urb. 4 Sub. 4 Rur. 4	Urb. 4 Sub. 4 Rur. 4	Urb. 4 Sub. 4 Rur. 4	Urb. 4 Sub. 4 Rur. 4
G. Planicie fluvio-éolica	Urb. 3 Sub. 4 Rur. 4	Urb. 3 Sub. 4 Rur. 4	Urb. 3 Sub. 4 Rur. 4	Urb. 4 Sub. 3 Rur. 4	Urb. 4 Sub. 3 Rur. 4	Urb. 4 Sub. 3 Rur. 4	Urb. 4 Sub. 3 Rur. 4	Urb. 4 Sub. 3 Rur. 4	Urb. 4 Sub. 3 Rur. 4	Urb. 4 Sub. 3 Rur. 4	Urb. 4 Sub. 3 Rur. 4	Urb. 4 Sub. 3 Rur. 4	Urb. 4 Sub. 3 Rur. 4	Urb. 4 Sub. 3 Rur. 4	Urb. 4 Sub. 3 Rur. 4	Urb. 4 Sub. 3 Rur. 4

UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS

CUADRO 2: Escenario seco.

AMENAZAS AMBIENTALES		UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS											
REFERENCIAS Clases Uso del Suelo Urb. Urbano Sub. Suburbano Rur. Rural Intensidad Amenaza 1. Bajo 2. Medio 3. Alto 4. Muy alto	Migración de población rural a ciudades												
	Aumento de incendios												
	Incremento de heladas												
	Aumento remoción en masa por desecación de taludes												
	Incremento de heladas												
	Aumento subsidencia terreno por depresión napa freática												
	Aumento tormentas de polvo												
	Aumento erosión eólica												
	Aumento enfermedades pulmonares												
	Aumento polución atmosférica												
	Disminución productividad de las tierras												
	Salinización de suelos												
Desecación de suelos													
Aumento contaminación aguas superficiales y freática													
Disminución agua subterránea (freática o acuíferos profundos)													
Disminución recurso hídrico (consumo humano y riego)													
	A. Maciso antiguo fracturado y elevado	Sub. 1-2	Sub. 1-2	Rur. 2-3	Rur. 3	Sub. 3	Rur. 3	Sub. 2	Rur. 2-3	Sub. 2	Rur. 2-3	Sub. 2	Rur. 2-3
	B. Relieve de cuesta fracturado y disecado	Sub. 2-3	Sub. 2-3	Rur. 2-3	Rur. 2	Sub. 3	Rur. 2	Sub. 2-3	Sub. 2-3	Sub. 2-3	Sub. 2-3	Sub. 2-3	Sub. 2-3
	C. Glacis de erosión proximal	Sub. 3-4	Sub. 3-4	Sub. 3-4	Sub. 3-4	Urb. 3	Sub. 3	Urb. 3-4	Sub. 3-4	Urb. 3	Sub. 3	Urb. 3	Sub. 3
	D. Glacis de erosión distal	-----	-----	-----	-----	Urb. 4	Sub. 4	Urb. 4	Sub. 4	Urb. 4	Sub. 4	Urb. 4	Sub. 4
	E. Glacis cubierto antiguo disecado	Sub. 2-3	Sub. 2-3	Rur. 2-3	Rur. 3	Sub. 2	Rur. 3	Sub. 2	Rur. 2	Sub. 2	Rur. 2	Sub. 2	Rur. 2
	F. Valle fluvial del río Salí	Urb. 3-4	Sub. 3-4	Sub. 3-4	Sub. 3-4	Urb. 3	Sub. 3	Urb. 3	Sub. 3	Urb. 3	Sub. 3	Urb. 3	Sub. 3
	G. Planicie fluvio-eólica	Urb. 4	Sub. 4	Rur. 4	Rur. 4	Urb. 4	Sub. 4	Urb. 4	Sub. 4	Urb. 4	Sub. 4	Urb. 4	Sub. 4

efectos futuros como base de acciones de control o prevención, existe la posibilidad de efectuar cuantificaciones más precisas, en base a métodos y técnicas conocidas. Así, la sectorización espacial dada por las unidades geomorfológicas (Fig. 1) constituye el primer nivel de percepción del fenómeno, que podría cambiar cuando la información disponible presente un mayor grado de complejidad o detalle. El ámbito de su aplicación puede variar desde una gran región como la llanura chaqueña occidental, una cuenca fluvial, un gran aglomerado urbano o una pequeña población, ubicados ya sea en la región subtropical húmeda, los valles áridos o el altiplano puneño del noroeste argentino.

Planes de alerta temprana y mitigación

La identificación y valoración de riesgos posibles determina la necesidad de elaborar planes de protección o mitigación que deberían surgir de la colaboración entre científicos, tecnólogos de las agencias gubernamentales y la comunidad. El plan de mitigación para cada escenario y cada proceso implica efectuar un análisis detallado de los factores causales, mecanismos generadores y sus efectos sobre el paisaje rural y/o urbano y sus habitantes, comenzando por programas de alerta temprana para cada riesgo ambiental. El énfasis internacional sobre sistemas de alerta temprana ha cambiado su enfoque, científicos y tecnólogos son considerados cada vez más como los líderes para el desarrollo de una capacidad regional, nacional y multinacional para alertar anticipadamente. El adoptar un enfoque general para todo tipo de peligros, en el cual las necesidades locales sean claramente identificadas y apoyadas por políticas nacionales, genera sinergias que pueden y deben apoyarse (Hall 2007). Los antecedentes del pasado constituyen una buena base para valorar posibles riesgos o amenazas futuros ya que pueden volver a repetirse potenciados por la acción antrópica. Algunos pocos ejemplos de programas de contingencia aplicables en la región, ante diferentes amenazas y escenarios climáticos podrían ser (entre mu-

chos otros) los siguientes:

- Modelos de simulación sobre diferentes niveles de inundación en cuencas fluviales, como base para identificar las áreas más necesitadas de acciones de prevención.
- Programas de alerta incluyendo sistemas de alarma y aviso, preparación de la población para la emergencia e identificación de puntos de acogida más favorables.
- Identificación de puntos susceptibles para la provisión agua para consumo humano y/o riego, en situación de extremo estrés hídrico.
- Elaboración de alternativas de manejo agrosilvopastoril ante situaciones de extremada sequía o excesiva precipitación.
- Programas de alerta y salvataje en casos de incendio producto de la sequía.
- Programas sanitarios para la prevención de epidemias o control de enfermedades pulmonares ante escenarios húmedos o secos.

CONCLUSIONES

Las conclusiones del panel intergubernamental de cambio climático y otros prestigiosos centros científicos dejan pocas dudas sobre la inevitabilidad de los cambios climáticos generados por el efecto invernadero en las próximas décadas. Sería innecesario expresar el anhelo de que las más graves predicciones se vean atenuadas como consecuencia de reducciones significativas en las emisiones de gases de invernadero. El conocimiento de los cambios climáticos del pasado (centenarios a milenarios) es un aporte significativo en las predicciones de escenarios de cambio climático al reflejar condiciones de circulación atmosférica libres de influencias antropogénicas, constituyendo, un simulacro válido de cara al futuro, especialmente en caso de situaciones catastróficas que afectarían a las comunidades humanas. Los cambios extremos de los climas del pasado (cercano y lejano) y sus efectos sobre la geodinámica del paisaje rural y urbano en la región metropolitana de Tucumán, constituye una aproximación válida para establecer escenarios que sirvan de fundamento a

programas de contingencia destinados a prevenir o atenuar las graves consecuencias que los mismos podrían ocasionar.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo ha sido desarrollado en el marco del Proyecto PICTO 884, financiado por la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Allen, M.R. e Ingram, W.J. 2002. Constraints on future changes in climate and the hydrologic cycle. *Nature* 419: 224-232.
- Berberian, E.E., Nielsen, A.E., Arguello de Dorsch, E., Bixio, B., Spalletti, L.A., Salazar, J.A. y Pillado, E.L. 1988. Sistemas de asentamiento prehispánico en el valle de Tafi. *Revista de Antropología e Historia*, Edit. Comechingonia, VOLUMEN y PAGINAS, Córdoba.
- Bergsma, E. y Neder, del V. 2006. Soil and land management aspects. En: Zinck, A. (Ed.): *Land use change and land degradation in the western Chaco, Tucumán province, Northwest Argentina, Burreyacu region*. ITC Publication 84: 119-132. Enschede.
- Busnelli, J., Neder, L., Sayago, J.M. y Flores Ivaldi, E. 2006. Cambio climático, deforestación y degradación de los suelos (periodo 1970-2003) en la llanura chaqueña occidental (Tucumán, Noroeste Argentino). En Sanabria, J.A. y Arguello, G.L. (eds.) *Actas de Trabajos 3*: 65-74, Córdoba.
- Caría, M.A. y Garralla S. 2003. Caracterización arqueopalinológica del sitio Ticucho 1 (Cuenca Tapia-Trancas) Tucumán, Argentina. En Collantes, M.M., Sayago, J.M. y Neder, L. (eds.) *Cuaternario y Geomorfología*, 2º Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología, Actas: 421-428, S.M. de Tucumán.
- Collantes, M.M. 2001. Paleogeomorfología y Geología del Cuaternario de la cuenca del río Tafi, Departamento Tafi

del Valle, Provincia de Tucumán, Argentina. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Naturales e I.M.L., Universidad Nacional de Salta, (inédito), 220 p., Salta.

- Crowley, T.J. y Lowery, T.S. 2000. How warm was the medieval warm period? *Ambio* 29(1): 51-54.
- Crutzen, P.J. y Golitsyn, G.S. 1992. Linkages between global warming, ozone depletion, acid deposition and other aspects of global environmental change. En Mintzer, I.M. (ed.) *Confronting Climate Change. Risk, Implications and Responses*, Chapter 2: 15-32. Cambridge University Press.
- Dawson, A.G. y O'Hare, G. 2000. Ocean-Atmosphere Circulation and Global Climate. *Geographie* 85(3): 193-208.
- Delmonaco, G., Margottini C. y Serafini S. 1999. Climate Change Impact on Frequency and distribution of Natural Extreme Events: an Overview. En Casale, R. y Margottini, C. (eds.) *Floods and Landslide*, Chapter 4: 45-64, Springer.
- EPICA community members 2004. Eight glacial cycles from an Antarctic ice core. *Nature* 429: 623-628.
- Global Environmental Change: Research pathway for the next decade. 1999. National Academy of Sciences. 616p., Washington.
- González, A.R. 1999. La cultura de La Aguada y el Periodo Formativo. Evolución e historia en el proceso cultural del noroeste argentino. En Ledergerber-Crespo, P. (ed.) *Formativo Sudamericano, una revolución*, Ediciones ABYA-YALA, 285-301, Quito.
- González, A.R. y Núñez Regueiro, V.A. 1960. Preliminary report on archaeological research in Tafi del Valle, NW Argentina. *Internationalen Amerikanisten Kongresses, Akten* 34: 485-96.
- Hall, P. 2007. Early Warning Systems: Reframing the Discussion. *The Australian Journal of Emergency Management* 22(2): 32-36.
- Heredia, O.R. 1975. Investigaciones arqueológicas en el sector meridional de las Selvas Occidentales. *Revista del*

- Instituto de Antropología 5: 73-132, Córdoba.
- Huang, Sh., Pollack, H. y Po-Yu, S. 2000. Temperature trends over the past five centuries reconstructed from borehole temperatures. *Nature* 403: 756-758.
- Intergovernmental Panel on Climate Change 2007. *Climate Change 2007 - Mitigation of Climate Change: Working Group III contribution to the Fourth Assessment Report of the IPCC (Climate Change 2007)*. Cambridge University Press, 896 p.
- Laymont, P. 2006. Problemas y desafíos del medio ambiente en el conglomerado urbano del Gran San Miguel de Tucumán (Argentina). En Aquino, A.L., Collantes M.M. y Mon, R. (eds.) *Desafíos Ambientales del Gran San Miguel de Tucumán (Argentina)*, Cap. 16: 261-284, S. M. de Tucumán.
- Loulerge, L., Schilt, A., Spahni, R., Masson-Delmotte, V., Blunier, T., Lemieux, B., Barnola, J., Raynaud, D., Stocker, T.F. y Chappellaz, J. 2008. Orbital and millennial-scale features of atmospheric CH₄ over the past 800,000 years. *Nature* 453: 383-386.
- Lüthi, D., Le Floch, M., Bereiter, B., Blunier, T., Barnola, J., Siegenthaler, D.R., Jouzel, J., Fischer, H., Kawamura, K. y Stocker, T.F. 2008. High-resolution carbon dioxide concentration record 650,000-800,000 years before present. *Nature* 453: 379-382.
- Mon, R. y Mansilla, N. 1998. Estructura geológica del territorio de la Provincia de Tucumán. En Gianfrancisco, M., Puchulu, M.E., Durango de Cabrera, J. y Aceñolaza, G.P. (eds) *Geología de Tucumán*, Publicación Colegio de Graduados en Ciencias Geológicas de Tucumán, 2da. Edición, 147-153, S. M. de Tucumán.
- Pierrehumbert, R.T., 2002. The hydrologic cycle in deep-time climate problems. *Nature* 419: 191-198.
- Prat, M.C. y Sayago, J.M. 2003. Risques Naturels, actions anthropiques et enjeux à San Miguel de Tucumán (nord-ouest Argentin). *Cahiers d'Outre Mer* 56(223): 301-326.
- Raffino, R.A. 1988. Poblaciones indígenas de la República Argentina. Urbanismo y proceso social. Tipografía Editorial Argentina, 122p., Buenos Aires.
- Root, T.L., Price, J.T., Hall, K.R., Schneider, S.H., Rosenzweig, C. y Pounds, A. 2003. Fingerprints of global warming on wild animals and plants. *Nature* 421: 57-60.
- Sampietro Vattuone, M.M., Sayago, J.M., Caria, M. y Collantes, M.M. 2003. Cambio climático y dinámica poblacional en el noroeste argentino durante los periodos "Formativo" y "Desarrollos Regionales". En Collantes, M., Sayago, J.M. y Neder, L. (eds.) *Cuaternario y Geomorfología*, 463-473, S.M. de Tucumán.
- Sayago, J.M. 1982. Las unidades geomorfológicas como base para la evaluación integrada del paisaje natural. *Acta Geológica Lilloana* 16(1): 169-180.
- Sayago, J.M., Collantes, M.M. y Arcuri, C. 1991. El glaciario Finipleistoceno-Holoceno y su relación con los depósitos clásticos pedemontanos en la región montañosa de Tucumán (Argentina). *Bamberger Geographische Schriften* 11: 155-168, Bamberg.
- Sayago, J.M. y Niz, A. 2001. Past human impacts and ecosystem response in the dry region of the northwest Catamarca province, Argentina. Abstracts Challenges of a Changing Earth, Global Change Open Sciences Conference, 367 p., Amsterdam.
- Sayago, J.M. and Toledo, M. 2000. Rainfall increase, land use and morphodynamic changes in northwestern Argentina as indicators of the effects of future climatic changes. En: O. Slaymaker (Ed.): *Geomorphology and human activity: Their role in Global Environmental Changes*, Chapter 8: 185-195, John Wiley & Sons, Ltd.
- Sayago, J.M., Powell, J., Collantes, M.M. y Neder, L. 1998. El Cuaternario. En Gianfrancisco, M., Puchulu, M.E., de Cabrera, J.D. y Aceñolaza, G. (eds.) *Geología de Tucumán*, Publicación Colegio de Graduados en Ciencias Geológicas de Tucumán, 2da. Edición, 111-128, S. M. de Tucumán.
- Sayago, J.M., Sampietro, M.M., Caria, M. y Collantes, M.M. 2003. Paleoclimatic changes and human crisis in Northwest Argentina during the European medieval warm period. En Ruiz Zapata, M.B., Dorado Valiño, M., Valdeolmillos Rodríguez, A., Gill García, M.J., Bardají Azcárate, T., De Bustamante Gutierrez, I. y Martínez Mendizábal, I. (eds.) *Quaternary Climatic Changes and Environmental Crisis in the Mediterranean Region*, Imprenta Universidad de Alcalá. Alcalá de Henares, 81-88, Madrid.
- Sayago, J. M., Zinck, A., Collantes, M. M. and Toledo, M., 2005. Environmental changes in the pre-andean valleys and Chaco plain (Northwest Argentina) during the Late Pleistocene and Holocene. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie. Abh.*, 236 (1/2): 245-265. Stuttgart.
- Sayago, J.M., Collantes, M.M., Neder, L., Toledo, M. 2006. Cambio climático y riesgos ambientales en el Gran San Miguel de Tucumán. En Aquino, A.L., Collantes, M.M. y Mon, R. (eds.) *Desafíos Ambientales del Gran San Miguel de Tucumán, Argentina*, Cap. 24: 405-420, S. M. de Tucumán.
- Stine, S. 1998. Medieval climatic anomaly in the Americas. En Issar, A.S. y Brown, N. (eds.) *Water, Environment and Society in Times of Climatic Change*, Chapter 3: 43-67. Kluwer Academic Publishers.
- Zinck, A.J. y Sayago, J.M. 2001. Climatic periodicity during the late Pleistocene from a loess-paleosol sequence in northwest Argentina. *Quaternary International* 78(1): 11-16, Pergamon.