

El agro, el clima y el agua en La Pampa Semiárida: Revisando paradigmas

Ernesto F Viglizzo
INTA / CONICET

La producción agropecuaria en la Pampa Semiárida está fuertemente afectada por dos importantes fuentes de variación: el clima y la economía. Pero mientras las variaciones de la economía (precios, costos, etc.) en general afectan homogéneamente a distintas regiones ecológicas, las variaciones en el clima hacen sentir su rigor especialmente en las regiones semiáridas y áridas del país (Covas, 1962). La historia de la producción agropecuaria en la Pampa Semiárida es la crónica de un siglo de prueba y error, y de adaptaciones sucesivas, a un clima tan generoso en algunas ocasiones como devastador en otras (Viglizzo *et al.*, 1991).

El clima ha modelado la agronomía de la Pampa Semiárida (Covas y Glave, 1988) durante los últimos 50 años, en los cuales se desarrollaron tecnologías y prácticas agronómicas, se intensificaron las mediciones, y se instrumentaron leyes (de conservación del suelo) e instituciones públicas (Universidades, INTA) y privadas (CREA, AAPRESID) que favorecieron la rápida adaptación del agro a la inestabilidad del clima regional. Después de medio siglo de progreso agropecuario es necesario revisar la vigencia de algunos paradigmas productivos y tecnológicos que caracterizaron aquella eficaz labor colectiva.

El objetivo de esta contribución es evaluar cambios históricos y cambios recientes (i) en el clima, (ii) en la hidrología y (iii) en los planteos productivos y tecnológicos de la región. Se intentará integrar información y datos de distintas fuentes con el fin de construir un cuadro que nos permita interpretar procesos pasados y proyectar tendencias y estrategias futuras.

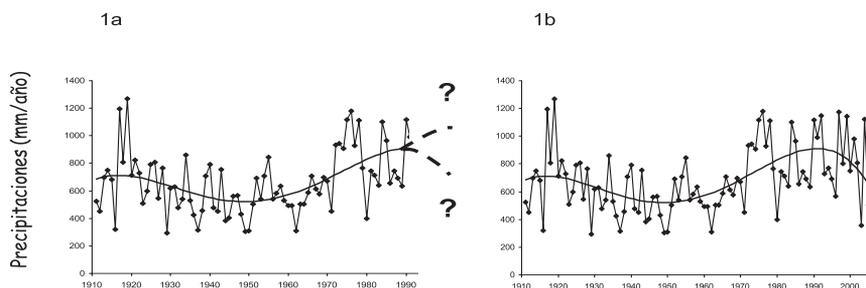
¿Existen ciclos pluviométricos en la Pampa Semiárida?

Sin desconocer la importancia de la temperatura, la humedad ambiental o los vientos, la lluvia es sin duda el principal factor climático que modula la producción agropecuaria en la Pampa Semiárida (Bernardos *et al.*, 2001). Por lo tanto, la tendencia que manifiestan las lluvias tiene una relevancia innegable para proyectar la capacidad de adaptación de nuestros sistemas de producción a un futuro climático incierto que es característico de las regiones semiáridas del planeta.

La noción de «cambio climático» ha tenido en la última década una poderosa influencia sobre los medios y la opinión pública. Hoy sabemos que el planeta ha experimentado, en los últimos 200 años, a un calentamiento global que la ciencia atribuye al hombre, pero que no es homogéneo y que

afecta diferencialmente a distintas regiones (IPCC, 2007). La idea de cambio climático que ha dominado la opinión pública es la de un cambio direccional que conduce linealmente a un escenario climático definido en distintas regiones del planeta (sea más caliente, más húmedo, más seco, etc). La noción de un ciclo climático, con fases alternantes de ascenso y descenso, no se ha incorporado todavía al imaginario popular. Sin embargo, las evidencias paleoclimáticas registradas por la ciencia durante los últimos 20 años parecen indicar que el planeta Tierra ha estado expuesto a cambios climáticos dominados por ciclos térmicos muy marcados (glaciales e interglaciales) y de larga duración (Petit *et al.*, 1999) que han ocurrido sin mediar la intervención humana. Estas evidencias dismantelan la idea generalizada de un cambio climático lineal, y soportan la de cambios cíclicos que se han repetido con alguna regularidad en períodos de 100.000 años aproximadamente. Cada uno de estos macro-ciclos parecen anidar, asimismo, ciclos menores de 40.000 y 26.000 años respectivamente que pueden ser explicados por causas diferentes (Turney, 2006).

Dentro de este marco hipotético de ciclos menores anidados en ciclos de mayor duración es posible analizar el comportamiento pluviométrico regional de largo plazo. Aunque se carece de mediciones instrumentales de las lluvias que arranquen antes del último siglo, estos registros claramente insinúan un ciclo pluviométrico con una fase seca (a mediados del siglo 20) limitada por dos fases húmedas, una al comienzo y otra al final del siglo pasado (Figura 1). A mediados de la década de 1990, Roberto *et al.* (1994) y Viglizzo *et al.* (1995) mostraron este comportamiento cíclico en medio de una fase húmeda que disparó dos hipótesis (Figura 1a): una basada en el supuesto que esa fase de altas precipitaciones se prolongaría en el tiempo, y otra que infería una reversión de la fase húmeda hacia otra fase más seca. Las lluvias registradas durante la primera década del siglo 21 parecerían indicar que la segunda de las hipótesis es válida, ya que las tendencias pluviométricas mostraron una persistente declinación (Figura 1b). No obstante, un siglo es un período de tiempo insuficiente para validar un patrón hipotético de comportamiento cíclico. Se necesitan más evidencias.



Fuente: Roberto *et al.* (1994).

Figura 1. Patrón pluviométrico de la pampa occidental durante el período 1910-2009

Un estudio interesante e ilustrativo (Moncaut, 2001), elaborado a partir de relatos y crónicas de distintos viajeros que fueron registrando en sus diarios de viaje las condiciones de inundaciones y sequías que observaban al cruzar la pampa bonaerense, permite reconstruir situaciones oscilantes del clima entre 1576 y 2001. Este trabajo ofrece indicios bastante claros acerca de un comportamiento cíclico de la hidrología regional. Sin embargo, esta información es cualitativa y no permite estimar la magnitud de las variaciones a través del tiempo.

Distintos procedimientos son utilizados para reconstruir y cuantificar cambios históricos ocurridos en los patrones pluviométricos y térmicos de una región, campo que es explorado por una rama de la ciencia del clima denominada paleo-climatología (estudio del clima antiguo). Un valioso trabajo publicado por el National Research Council (NRC, 2006) de Estados Unidos resume los métodos más difundidos, que incluyen, además de los «archivos culturales» basados en mediciones instrumentales y los registros de relatos históricos, los «archivos naturales» que ofrecen la dendrología (estudio de los anillos de crecimientos en los árboles), los sedimentos de lechos marinos y lacustres, los núcleos de hielo polar, los corales, el polen de plantas, etc.

En un trabajo reciente, Dussart *et al.* (no publicado) realizaron una reconstrucción histórica de las condiciones ambientales dominantes en dos zonas de la Pampa Semiárida (Toay y Luan Toro, provincia de La Pampa) desde mediados del siglo 18. Realizaron un análisis dendro-climatológico basado en el estudio de los anillos de crecimiento en trece ejemplares de árboles de Caldén (*Prosopis caldenia*) que tenían distintas edades cronológicas. El más antiguo de esos registros se remontó a la década de 1740. El promedio del espesor de los anillos revela distintas condiciones de crecimiento: los anillos más gruesos en general indican mejores condiciones de humedad y temperatura; los más finos, condiciones más frías y secas. Soslayando restricciones metodológicas que no detallaremos en este trabajo, los resultados muestran un comportamiento cíclico inequívoco que se puede apreciar en la Figura 2.

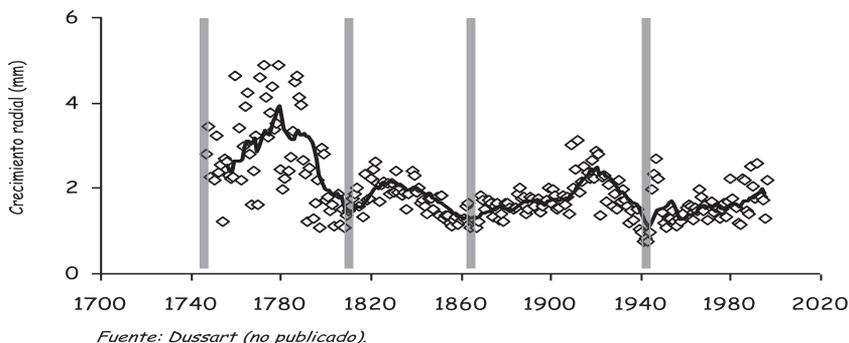


Figura 2. Espesor medio (mm) de los anillos de crecimiento en 13 ejemplares de Caldén de Toay (6) y Luan Toro (7)

Si el crecimiento radial de los árboles se asocia positivamente a las condiciones hidrológicas del ambiente, los datos muestran en un período aproximado de 250 años una secuencia de ciclos climáticos cuya duración habría oscilado entre 60 y 80 años.

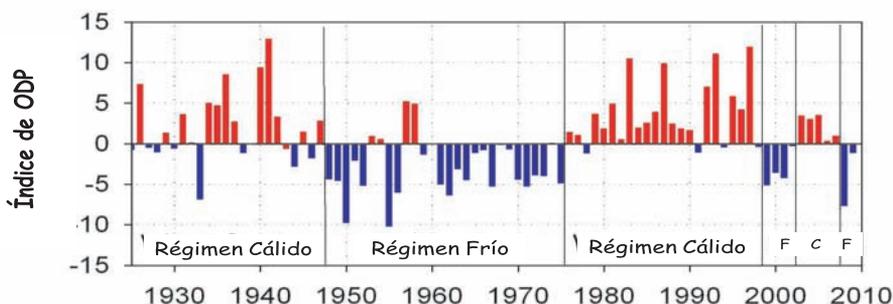
Si bien se necesitarían más evidencias para respaldar la teoría, estos tres testimonios (el instrumental, el relato histórico y el análisis dendrocronológico) consolidan la hipótesis de que el clima regional está signado por una ocurrencia de ciclos multi-decádicos que tienden a repetirse cada 6 u 8 décadas, con fases secas o húmedas que oscilan entre 30 y 40 años. Si esta hipótesis es sustentable, podría suponerse que el clima regional ha ingresado, a comienzos del siglo 21, en una fase más seca que la registrada en la segunda mitad del siglo 20.

Estos cambios cíclicos no impiden expresar la fuerte variabilidad pluviométrica que se registra dentro del año y a través de los años (Minetti *et al.*, 2003). Aún en una fase seca del ciclo pueden ocurrir años lluviosos y en una fase húmeda, años secos. En un trabajo en el cual analizan los cambios en el uso de la tierra como indicadores de cambio climático, Sierra *et al.* (1995) indican que la variabilidad de las lluvias parece estar decisivamente influida por la sucesión de episodios de El Niño (calentamiento que dura unos pocos meses de las aguas del Océano Pacífico ecuatorial en Sudamérica) y La Niña (enfriamiento de esas aguas).

¿Qué factores pueden disparar un ciclo pluviométrico en la región?

Si se acepta la teoría de ciclos multi-decádicos recurrentes en el clima pampeano, ¿qué factores causales los disparan? ¿Qué mecanismos están involucrados? Estas preguntas no tienen todavía una respuesta sencilla, pero dada la complejidad intrínseca de la maquinaria climática del planeta, es lícito suponer que son múltiples los factores que intervienen. No obstante, es objetivo de la ciencia climática identificar aquellos factores y mecanismos que mejor parecen explicar el fenómeno en estudio.

Algunos autores (Latif y Barnett, 1994; Cayan, 1996; Bitz y Battisti, 1999, Minobe, 1999) relacionan cambios ocurridos en el clima y la ecología terrestre con anomalías térmicas que se registran en los océanos. Por ejemplo, la Oscilación Decádica del Pacífico (ODP) suele ser vinculada a variaciones térmicas y pluviométricas en áreas occidentales de los Estados Unidos (Mantua *et al.*, 1997) que impacta sobre la biología y los ecosistemas de esas regiones. La ODP, que es considerada como un fenómeno equivalente a un El Niño con una duración varias décadas (Zhang *et al.*, 1997), se representa mediante un índice que registra cambios en la temperatura superficial de las aguas del Océano Pacífico sobre las costas de Norte y Sudamérica (Figura 3).



Fuente: Mantua et al. (1997).

Figura 3. Registro instrumental (de mayo a septiembre) de los índices de la Oscilación Decádica del Pacífico (ODP) entre 1920 y 2010. Barras por encima de cero: calentamiento; barras por debajo de cero: enfriamiento oceánico.

Si se analizan las oscilaciones térmicas de la Figura 3, se aprecia a lo largo del siglo 20 ocurrieron dos fases de régimen térmico predominantemente cálido (en las primeras y últimas décadas de ese siglo) y una fase predominantemente fría que ocurrió entre las décadas de 1940 y 1970 aproximadamente. Es inevitable asociar las fases cálidas con las dos fases de alta precipitación, y la fase fría con la fase de sequía, en las pampas occidentales.

Al confrontar valores anuales del ciclo pluviométrico multi-decádico de las pampas occidentales con el índice de ODP (Figura 4), se aprecia una correspondencia llamativa en el formato cíclico de ambas curvas. Cuando se correlacionan ambas variables año a año, la correlación es sorprendentemente baja ($R=0,17$). Sin embargo, cuando la estimación se realiza década a década al promediar ambas variables en períodos de 10 años, la correlación mejora sustancialmente ($R=0,67$). Esto puede indicar que las variaciones de las lluvias en las pampas occidentales y la ODP deben ser valoradas en escalas temporales más amplias (10 años) para encontrar una relación significativa entre ambas. Si bien estos resultados no pueden ser considerados concluyentes, hipotéticamente se puede inferir que existe la ODP puede ser uno de los factores con capacidad de modular los ciclos multi-decádicos de las lluvias en la región.

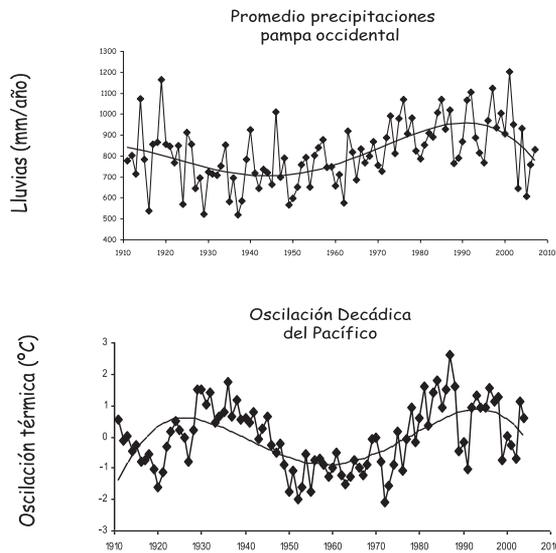


Figura 5. Oscilaciones térmicas del Océano Pacífico y patrones pluviométricos de la región pampeana occidental

Algunos autores indican que existe una vinculación entre la ODP y un índice que valora la frecuencia e intensidad de ocurrencia de los fenómenos de El Niño (Zhang *et al.*, 1997). La correlación encontrada en este trabajo entre ambos fenómenos es alta ($R=0,86$). Esto significa, en términos prácticos, que la probabilidad de ocurrencia de fenómenos de El Niño se multiplicaría durante los regímenes térmicos más cálidos registrados en la ODP (Figura 5).

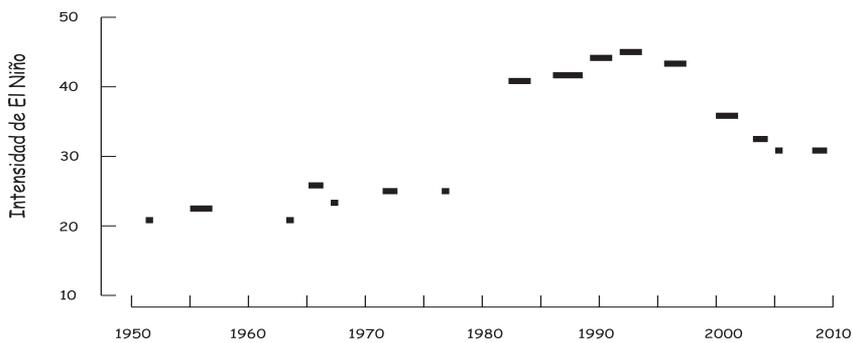


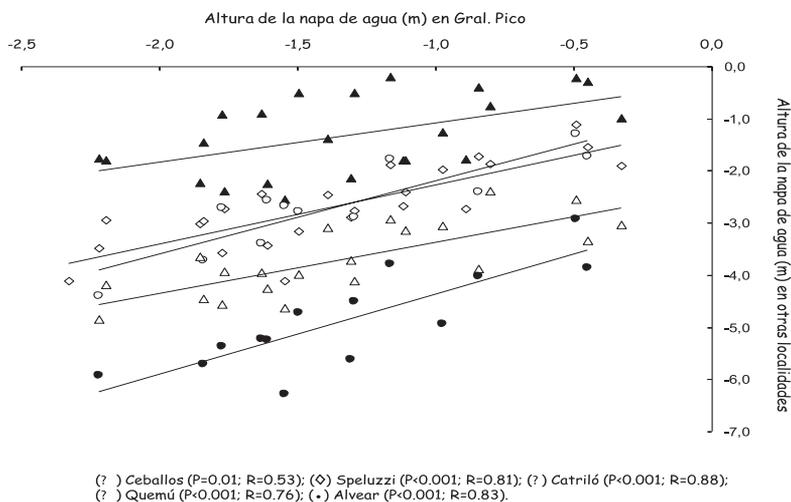
Figura 5- Intensidad (frecuencia y duración) del fenómeno de El Niño entre 1950 y 2010

El recurso hídrico invisible

Las aplicaciones, y la propia enseñanza universitaria, de la ciencia agronómica en las regiones semiáridas han estado fuertemente condicionadas al volumen, intensidad y frecuencia de las precipitaciones anuales. De hecho, es la lluvia el principal recurso que determina el funcionamiento biológico de los ecosistemas y de los sistemas de producción en estas regiones. Aunque dependiente de las lluvias, existe otro recurso hídrico generalmente no visible que, con una dinámica propia, influye también sobre la ecología y la producción agropecuaria: el agua subterránea. Hoy no es posible interpretar la hidrología de una región semiárida sin tener en cuenta la incidencia del agua freática.

Como es previsible, se sabe mucho menos sobre el comportamiento del agua freática que sobre el comportamiento estacional de las lluvias. La llanura pampeana es una de las regiones más planas del planeta, ya que a escala regional presenta pendientes medias menores a 0,1 %. En las fases más húmedas del ciclo pluviométrico, es frecuente que el nivel freático se encuentre a escasa profundidad de la superficie (menos de 5 m), lo cual determina una interacción entre el agua superficial y el agua subterránea (Jobbágy *et al.*, 2008; Aragón *et al.*, 2010). Es posible, en tales circunstancias, que la capa freática entre en contacto directo con la vegetación, razón por la cual el agua subterránea puede ser una fuente importante de agua o, por el contrario un factor de anegamiento, inundación y/o salinidad en los suelos (Nosetto *et al.* 2009).

En las pampas occidentales se registran situaciones de exceso y déficit hídrico cíclicos que derivan de la alternancia de períodos pluviométricos de alta o baja precipitación (Kruse y Zimmermann 2002). Aunque las lluvias son el principal insumo de agua en la capa freática, sus respectivas dinámicas no parecen estar tan vinculadas como sería esperable (Viglizzo *et al.*, 2009). Las lluvias, en general, expresan un comportamiento más rápido, pulsante e imprevisible que el agua freática, la cual se desplaza de acuerdo a patrones más lentos y previsible debajo de la superficie del suelo. Se registra una alta correlación (con valor R que oscila entre 0,53 y 0,88) entre los datos freáticos de seis localidades del NE de la provincia de La Pampa (General Pico, Ceballos, Speluzzi, Catrilló, Quemú-Quemú e Intendente Alvear) ubicadas dentro de un radio de 200 kilómetros (Figura 6).



Fuente: Viglizzo et al. (2007).

Figura 6. Dinámica sincrónica del agua subterránea en el noreste de La Pampa

Igualmente se registra una correlación bastante alta ($R=0.71$) con la localidad de Bordenave, ubicada en el SO de la provincia de Bs As a una distancia considerable (más de 300 km) de las anteriores. Esta relación presupone que las napas subterráneas de estas localidades forman parte de un mismo sistema freático que se manifiesta a través de una sincronía en sus movimientos ascendentes y descendentes. Tal sincronía desaparece cuando se intenta correlacionar estos datos freáticos con los de una localidad lejana (Rafaela) ubicada a más de 600 km de distancia hacia el norte. En este caso, un valor $R=-0.11$ permite inferir que Rafaela pertenece a un sistema freático muy distinto del anterior. Resulta llamativo que la sincronía freática registrada en la pampa semiárida no ocurra respecto a las lluvias. Cuando se correlacionan lluvias y nivel freático de cinco localidades con respecto a la localidad de General Pico (Cuadro 1) se aprecia que, en tanto la correlación geográfica entre las lluvias de esas localidades es más bien baja y errática (el valor de R oscila entre 0.20 y 0.60), la correlación freática es más alta y estable (R entre 0.71 y 0.88). Esto permite suponer que probablemente no existe una conexión geográfica fuerte en el sistema pluviométrico, pero sí en el sistema freático regional.

Gral. Pico versus	Lluvia vs. lluvia	Napa vs. napa
Alvear	0,60	0,83
Catriló	0,35	0,88
Quemú	0,20	0,76
Bordenave	0,37	0,71

Cuadro 1. Coeficientes de correlación de lluvias y napas entre varias localidades y la localidad de General Pico en La Pampa.

Tal contraste indica que ambos recursos podrían ser manejados de manera complementaria para optimizar el aprovechamiento hídrico en los sistemas agropecuarios. Por ejemplo, cuando el nivel freático se encuentra cerca de la superficie, puede ofrecer una oportunidad adicional a los cultivos para aprovechar el agua que fue almacenada durante períodos lluviosos (Jobbágy y Jackson 2004, Noretto et al. 2009). Pero cuando el nivel freático asciende demasiado y aflora en la superficie, la vegetación puede ser afectada por anoxia de las raíces (Noretto et al. 2009, Aragón et al. 2010). Datos registrados en el período 1978-2003 a escala regional parecen confirmar estos conceptos. En la Figura 7 se puede apreciar una llamativa y elevada correlación positiva entre el rendimiento de cuatro cultivos importantes de la región (maíz, trigo, girasol y soja) y la altura de la napa freática en las tierras altas del NE de la provincia de La Pampa. Pero esa correlación se diluye, y tiende aún a ser negativa, en las tierras bajas anegables del NO de la provincia de Buenos Aires. La fase climática (más húmeda o más seca) y la topografía del terreno (lomas o bajos) son dos factores a tener en cuenta para optimizar el aprovechamiento de las napas freáticas como un recurso de importancia productiva.

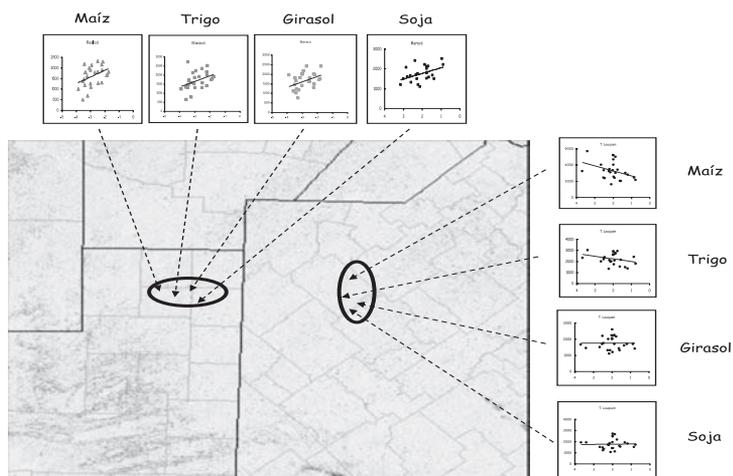


Figura 7. Relación entre altura de napa y rendimiento de los cultivos en las tierras altas y bajas de área de escurrimiento del Río Quinto

Revisando paradigmas

Las evidencias disponibles que se han detallado parecen indicar la existencia de ciclos climáticos que involucran fases de recarga y de descarga hídrica. Si bien existe un retraso temporal en el comportamiento de la napa freática respecto a las lluvias (Aragón et al., 2010), en Bordenave, una típica localidad de la pampa semiárida bonaerense, se manifiesta con claridad una fase de «recarga hídrica» que se inicia a mediados del siglo 20, y es sucedida por otra fase de «descarga hídrica» que parece haber comenzado en la primera década del siglo 21 (Figura 8). Si esta tendencia a un clima más seco en la pampa semiárida se acentúa, puede ser necesario revisar algunos paradigmas productivos y tecnológicos que se difundieron en la región.

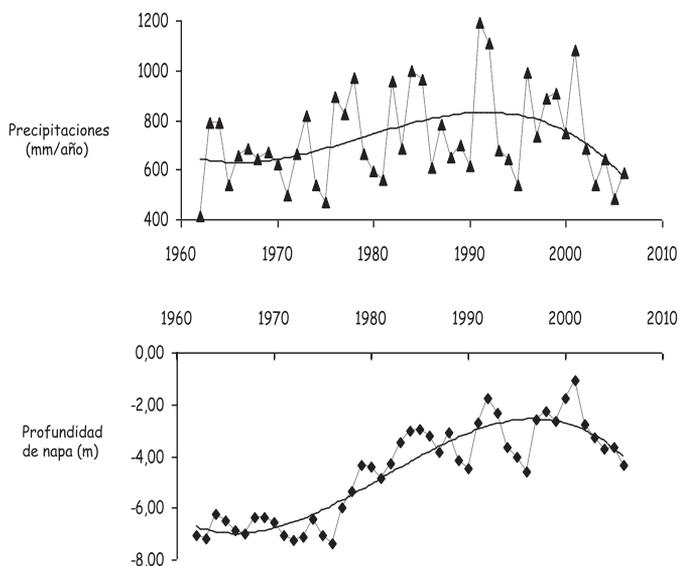


Figura 8. Patrones de precipitaciones y profundidad freática en la localidad de Bordenave (SO de la provincia de Buenos Aires)

Si se tiene en cuenta que el paradigma productivo y tecnológico actual comenzó unos 50 años atrás, es lícito suponer que nuestros planteos productivos y nuestra tecnología evolucionaron al amparo de una fase climática de «recarga hídrica» benigna que favoreció la expansión de los cultivos agrícolas en relación a la ganadería tradicional. El interrogante que surge es inevitable ¿es viable este paradigma de mayor producción agrícola en esta fase de «descarga hídrica» que parece insinuarse? Dentro de un escenario hídrico más restrictivo, es inmediato que el agua se convertirá en el engranaje vital de la maquinaria productiva. Más aún, esta situación nos exigiría recuperar la

noción de marginalidad que desarrollamos durante la fase seca de mediados del siglo 20, y que se diluyó con las altas precipitaciones medias registradas durante las décadas de 1980 y 1990.

Al menos cinco axiomas básicos merecen ser considerados para enfrentar las restricciones de una fase climática de «descarga hídrica».

El primer axioma aconseja configurar planteos productivos de menor demanda pluviométrica, y o mayor capacidad para capturar los beneficios de la napa freática. Un ejemplo puede servir para ilustrar esta idea. En la Figura 9 se presentan distintos planteos o configuraciones productivas que, a partir de una base de 40 % de la tierra afectada a la producción ganadera, difieren entre sí en su demanda anual de agua.

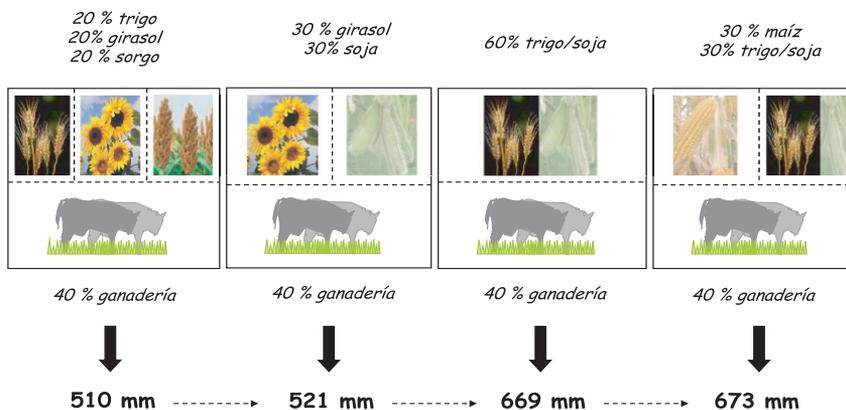


Figura 9. Estimación promedio de la demanda hídrica anual de sistemas agropecuarios con distinta configuración productiva

El sistema más demandante, viable con una precipitación anual cercana a los 700 mm, es aquel que destina 30 % de la tierra a la producción de maíz, y otro 30 % a una rotación trigo-soja de segunda. Este sistema contrasta claramente con otro sistema menos demandante de agua, que requiere anualmente alrededor de 500 mm, basado en cultivos como el trigo, el sorgo y el girasol. En una fase de restricción pluviométrica, con lluvias que oscilen entre 400 y 600 mm por año, el segundo sistema estará mejor adaptado que el primero y tendrá una menor probabilidad de resultar afectado por insuficiencia hídrica. En el Cuadro 2 se pueden apreciar diferencias notables en la demanda de agua en y en la capacidad de explorar el perfil del suelo que tienen las raíces de distintos cultivos. Distintas combinaciones de cultivos generan, en consecuencia, distintos patrones de demanda de agua, y distinta capacidad para capturar agua freática. Frente a una situación de escasez hídrica estival,

el cultivo de maíz está genéticamente menos adaptado para soportarla que el girasol, especie mejor dotada debido a su menor requerimiento de agua y a la mayor capacidad de sus raíces para explorar un perfil más profundo del suelo y extraer agua útil que complementa el aporte de las lluvias.

Cultivo	Demanda anual de agua (mm)	Profundidad media de las raíces (m)
Girasol	222	1.5 - 2.5
Maíz	544	0.6 - 1.2
Trigo	186	0.8 - 1.1
Soja	344	0.6 - 1.1
Sorgo	385	0.5 - 0.9

Cuadro 2. Demandas de agua y profundidad de las raíces en los principales cultivos de la pampa semiárida

Un segundo axioma, que eventualmente puede entrar en conflicto con el anterior, recomienda incorporar y manejar cultivos de doble y triple propósito para conferir flexibilidad al sistema de producción en períodos de restricción hídrica. Sin duda, el ranking de prioridades puede variar entre distintos productores, pero en general se tiende a priorizar primero el rendimiento de grano, en segundo lugar la producción de reservas forrajeras y en tercer lugar el pastoreo directo. Si el año determina una baja probabilidad de buena cosecha, el cultivo puede ser utilizado para alimentación de la hacienda, y este es un recurso valioso en épocas de sequía. Algunos cultivos como el maíz, el sorgo, el trigo y otras especies permiten esta duplicidad triplicidad de propósitos, pero otros como el girasol o la soja no lo permiten. Por lo tanto, el productor debe a menudo decidir entre un sistema flexible de aprovechamiento de sus cultivos, o bien «jugarse» a una cosecha con cultivos que no son multi-propósito.

Vinculado a este aspecto, un tercer axioma indica que es posible y necesario aprender a reconocer y capturar las ventanas de oportunidad que ofrecen los episodios de El Niño, que suelen ser más esporádicos y aleatorios en fases de «descarga hídrica». Existen sitios específicos de Internet (por ejemplo, la página web de NOAA) que ofrecen gratuitamente los índices actualizados de calentamiento del Pacífico ecuatorial sudamericano, mostrando las tendencias de esos índices hacia un período El Niño, La Niña o neutro. Cuando ese indicador comienza a insinuar un año o período El Niño, es posible anticipar un tiempo propicio para implantar pasturas o incorporar cultivos de mayor requerimiento hídrico, para aplicar fertilizantes y obtener mayores rendimientos, o para lograr pasturas perennes que requieren precipitaciones abundantes en su etapa inicial de implantación. La ocurrencia de episodios de El Niño confiere flexibilidad al planteo productivo. Los agrónomos deben manejar esta información como herramienta de decisión.

Un cuarto axioma a tener en cuenta en tiempos de sequía es incorporar al sistema de producción, como elemento estructural y no coyuntural, todas aquellas prácticas que minimicen la pérdida de agua por evaporación directa. La cobertura vegetal, sobre todo de material vegetal inactivo, parece ser esencial para capturar agua de una estación lluviosa, y transferirla a otra estación de escasez hídrica en que los cultivos demandan este recurso. El barbecho es una práctica cultural muy conocida desde tiempos remotos, enriquecida en los últimos tiempos con la posibilidad de realizar cultivos de cobertura y barbecho químico. Prácticas de labranza como la siembra directa, y aún otras formas de labranza reducida, o el barbecho también contribuyen favorablemente a esta «cosecha» y transferencia temporal del agua de lluvia.

Un quinto axioma nos invita a replantear el rol de la ganadería como un factor para realizar una gestión más eficiente del agua en el sistema de producción. Durante décadas, la ciencia agronómica enseñó que el aumento de la carga animal y la presión de pastoreo son los factores que permiten lograr una cosecha más eficiente del pasto disponible. Con ello se apunta a elevar el rendimiento de carne, lana o leche por hectárea, y a optimizar la rentabilidad de uso de la tierra. A esta noción responde el clásico modelo conceptual de Mott (1960), que demuestra que a mayor presión de pastoreo aumenta el rendimiento por hectárea en desmedro del rendimiento individual por animal (Figura 10). Pero este concepto, seguramente válido en tiempos de excedentes, necesita ser revisado en tiempos de escasez hídrica. El sobrepastoreo que puede generar la alta densidad animal produce un debilitamiento de la cobertura vegetal en el suelo y esto eleva la probabilidad de pérdida de agua por evaporación directa desde el suelo. Un esquema de carga más baja, menor producción por hectárea pero mayor cobertura del suelo y mayor producción individual, parece ser más apropiado para situaciones de estrés hídrico en los cuales es necesario maximizar la conservación del recurso más limitante. El manejo de las reservas forrajeras y los alimentos concentrados pueden jugar un rol estratégico en un planteo conservador de la gestión del agua.

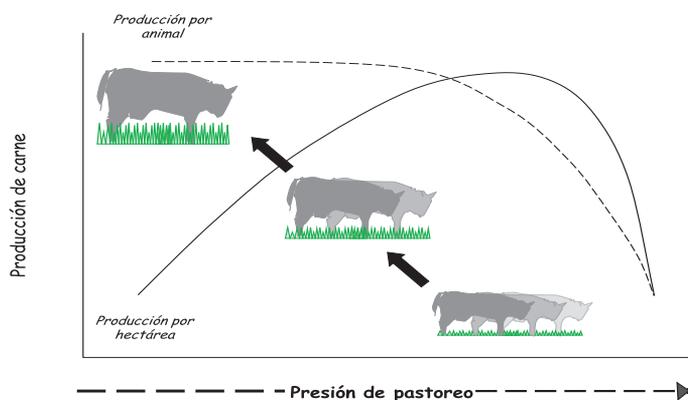


Figura 10. Presión de pastoreo, producción por animal y por hectárea (Fuente: adaptado de Mott (1960).

En la Figura 11 se presenta una síntesis que procura comparar las diferencias entre los paradigmas productivos y tecnológicos generados durante la fase de «recarga hídrica» (1970-2000), y los paradigmas que pueden generarse a partir de la emergencia de una probable fase de «descarga hídrica» en las zonas semiárida y sub-húmeda de las pampas argentinas.

Región en fase de recarga hídrica	Región en fase de descarga hídrica
Seleccionar las actividades que maximicen rentabilidad	Configurar sistemas que minimicen el riesgo
Asumir que el suelo es el recurso permanente de mayor valor económico	Aceptar que el agua es el recurso efímero de mayor valor estratégico
Conservar el suelo es lo importante	Manejar el agua es lo urgente
Gestionar el agua en función de las lluvias	Incorporar en las decisiones el mensaje invisible de las napas
Observar a El Niño como un fenómeno climático	Interpretar a El Niño como una ventana de oportunidad
Manejar cultivos, pasturas, forrajes y residuos para aumentar productividad	Manejar cultivos pasturas, forrajes y residuos para conservar y transferir agua

Figura 11. Revisando paradigmas agronómicos en la pampa semiárida

Conclusiones provisionarias

El probable advenimiento de una fase de «descarga hídrica», quizás ya iniciada, en la cual el agua puede convertirse en un severo factor limitante de las actividades agropecuarias, impone revisar algunos paradigmas productivos y tecnológicos que se desarrollaron en la región semiárida pampeana durante una fase generosa de «recarga hídrica» que duró aproximadamente cuatro décadas.

La demanda de conocimiento de los próximos años impondrá la necesidad de configurar planteos productivos y tecnológicos novedosos que pivoten alrededor del agua y optimicen su gestión en un contexto hídrico que, probablemente, será creciente escasez.

Para satisfacer esta demanda será necesario trabajar, no tanto en tecnologías empaquetadas de insumos, como en el desarrollo de una nueva generación de tecnologías de insumos que se apoyarán, seguramente, en el mejor conocimiento científico y tecnológico hoy disponible, y en el que se generará en el futuro.

Referencias

- Aragon, R., Jobbágy, E.G., Viglizzo, E. (2010). Surface and groundwater dynamics in the sedimentary plains of the Western Pampas (Argentina). *Ecohydrology* (en prensa) DOI: 10.1002/eco.149.
- Bernardos, J., Viglizzo, E., Jouvét, V., Lértora, F., Pordomingo, A., Cid, F. (2001). The use of EPIC model to study the agroecological change during 93 years of farming transformation in the Argentine Pampas. *Agricultural Systems* 69, 215–234.
- Bitz, C.C., and D.S. Battisti (1999). Interannual to decadal variability in climate and the glacier mass balance in Washington, Western Canada, and Alaska. *Journal of Climate*, 12, 3181-3196.
- Cayan, D. R. (1996). Inter-annual climate variability and snowpack in the western United States. *Journal of Climate*, 9, 928-948.
- Covas, G. (1962). Recuperation of exhausted land in semiarid regions. Proceedings of the Internacional Seminar on Soil and Water Utilisation, South Dakota, pp. 163–167.
- Covas, G., Glave, A.E. (1988). La erosión de suelos en la pampa semiárida. En: El Deterioro del Ambiente en la Argentina. FECIC, Buenos Aires, pp. 109–114. Fundación para la Educación, la Ciencia y la Cultura (FECIC).
- IPCC (2007). Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático- Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (Editores). Intergovernmental Program on Climate Change (IPCC), Ginebra, Suiza, 104 págs.
- Jobbágy, E.G., Jackson, R.B. (2004). Groundwater use and salinization with grassland afforestation. *Global Change Biology* 10: 1299-1312.
- Jobbágy, E. G., Noretto, M. D., Santoni, C. S., Baldi, G. (2008). El desafío eco-hidrológico de las transiciones entre sistemas leñosos y herbáceos en la llanura Chaco-Pampeana, *Ecología Austral.*, 18, 305–322.
- Kruse, E., Zimmermann, E. (2002). Hidrogeología de grandes llanuras: particularidades en la llanura pampeana (Argentina). Workshop publication on Groundwater and Human development, 2025-2038, Mar del Plata, Argentina.
- Latif, M. and T.P. Barnett (1994). Causes of decadal climate variability over the north Pacific and North America. *Science*, 266, 634-637.

Mantua, N. J., S. R. Hare, Y. Zhang, J. M. Wallace, and R. C. Francis (1997). A Pacific decadal climate oscillation with impacts on salmon. *Bulletin of the American Meteorological Society* 78:1069–1079.

Minetti, J.L., Vargas, W.M., Poblete, A.G., Acuña, L.R., Casagrande, G. (2003). Non-linear trends and low frequency oscillations in annual precipitation over Argentina and Chile, 1931-1999. *Atmósfera* 16: 119-135.

Minobe, S. (1999). Resonance in bi-decadal and penta-decadal climate oscillations over the North Pacific: Role in climatic regime shifts. *Geophysical Research Letters*, Vol. 26, pp 855-858.

Moncaut, C.A. (2001). Inundaciones y Sequías en La Pampa Bonaerense 1576. Primera edición. Editorial El Aljibe, City Bell (Argentina), 108 pp.

Nosetto, M.D., Jobbágy, E.G., Jackson, R.B., Sznaider, G.A. (2009). Reciprocal influence of crops and shallow ground water in sandy landscapes of the Inland Pampas. *Field Crops Research* 113: 138-148.

NRC (2006). Surface Temperature Reconstruction for the Past 2,000 Years. National Research Council (USA), Board on Atmospheric Sciences and Climate, Division on Earth and Life Studies, National Academies Press, Washington (DC), 141 pp.

Mott, G. (1960). Grazing pressures and the measurement of pastures production. Proceedings of the International Grassland Congreso- Reading (UK), 606-611.

Petit, J.R., Jouzel, J., Raynaud, D., Barkov, N.I., Barnola, J-M, Basile, I., Bender, M., Chappellaz, J., Davis, M., Delmotte, M., Delmotte, M., Kotlyakov V.M., M. Legrand, M., Lipenkov, M.V., Lorius, C., Pépin, L., Ritz, C., Saltzman, E., Stievenard, M. (1999). Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica. *Nature* 399: 429-436.

Roberto, Z.E., Casagrande, G., Viglizzo, E.F. (1994). Lluvias en la Pampa central: tendencias y variaciones del siglo. Cambio Climático y Agricultura en la Región Pampeana, Boletín INTA La Pampa-San Luis, No.2, 25pp.

Sierra, E.M, Conde Prat, M., Pérez, S. 1995. La migración de cultivos de granos como indicador del cambio climático 1941-93 en la Región Pampeana Argentina. *Revista FAUBA*, 15: 171-176.

Turney, Ch. (2006). Bones, Rocks and Stars: The Science of When Things Happened. McMillan Publishers Ltd, Hants (UK), 198 pp.

Viglizzo E.F., Z.E. Roberto (1991). Evolución y tendencia del agroecosistema en la pampa semiárida. En: Seminario Juicio a nuestra agricultura. Hacia el desarrollo de una agricultura sostenible. Buenos Aires, Argentina. INTA. Editorial Hemisferio Sur. p. 85-99.

Viglizzo, E. F., Lértora, F., Pordomingo, A. J., Bernardos, J., Roberto, Z. E., and Del Valle, H. (2001). Ecological lessons and applications from one century of low external-input farming in the pampas of Argentina, *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 83, 65–81.

Viglizzo, E. F., Roberto, Z. E., Filipp'yn, M. C. and Pordomingo, A. J.. (1995). Climate variability and agroecological change in the Central Pampas of Argentina, *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 55, 7–16.

Viglizzo, E. Jobbágy, L. Carreño, F. Frank, R. Aragón, L. de Oro y V. Salvador. (2009). The dynamics of cultivation and floods in arable lands of Central Argentina. *Hydrology and Earth System Sciences*, 13: 1-12.

Zhang, Y., Wallace, J.M., Battisti, D.S. (1997). ENSO-like inter-decadal variability: 1900-93. *Journal of Climate*, 10, 1004-1020.