

El bio-drenaje para el control del exceso hídrico en Pampa Arenosa, Buenos Aires, Argentina

Recibido: 14 de febrero de 2008. Aceptado en versión final: 26 de junio de 2008.

Margarita M. Alconada Magliano*

Adriana Bussoni**

Raúl Rosa***

José Joel Carrillo Rivera****

Resumen. La región noroeste de la provincia de Buenos Aires presenta periodos cíclicos de inundación y sequía. En 1970 se inicia el último ciclo húmedo registrado con grandes inundaciones, ascenso de la superficie freática e importantes pérdidas económicas en el sector agropecuario, un deterioro ambiental y problemas sociales. El *bio-drenaje* es una técnica que utiliza la vegetación para manejar el flujo de agua subterránea en un paisaje mediante la evapotranspiración, su aplicación ha tenido buen resultado en diversos países para el control de: inundación, salinización del suelo y elevación de la superficie freática. Se propone la plantación de especies forestales con ganadería vacuna (silvopastoreo) en áreas de recarga y tránsito de sistemas de flujo local de agua subterránea, y áreas de tránsito de flujos intermedios, y suelos *Udipsament típicos*, *Ustipsament típicos*, *Hapludol éntico*, y *Haplustol éntico*. Se evalúa la viabilidad financiera mediante rentas anual forestal y de silvopastoreo. *Pinus taeda*, *Eucalyptus viminalis*, y *E. tereticornis*, dieron resultado

positivo. *Prosopis sp* y *E. camaldulensis*, no presentan una alternativa financieramente viable. *Prosopis sp* podría considerarse por buen comportamiento en época seca, mejora de la ganadería y control del agua freática. La correcta elección de sitios a implantar resulta primordial, donde la calidad y cantidad del flujo de agua subterránea debe establecerse por técnicas científicamente probadas. De esta manera, se aborda la problemática ambiental de inundación del noroeste bonaerense, bajo una visión holística de la *geografía física y ambiental*, al proponer la importancia de conocer cómo funciona el paisaje, y entender su dinámica, evolución, y relación con los medios físico, biológico y humano. Visión que se propone como previa a la recomendación de prácticas de manejo que puedan considerarse como sustentables en términos ambientales, económicos y sociales.

Palabras clave: Bio-drenaje, inundación, silvopastoreo, renta forestal, agua subterránea, *Prosopis*.

Bio-drainage as control to water excess in the Pampa Arenosa, Buenos Aires, Argentina

Abstract. The northwest region of the province of Buenos Aires presents cyclical periods of flooding and drought. The last humid cycle started in 1970 with large flooding

areas, a rise of the water-table, severe economic losses in the farming sector, environmental deterioration, and social problems. Biodrainage is a technique where vegetation is

*Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional La Plata, UNLP y CISAUA (MAA-UNLP), Buenos Aires, Argentina, Calle 3, No. 584 (1900), La Plata, Buenos Aires, Argentina. Posgrado en Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, México. E-mail: margaalconada@yahoo.com.ar

**Gestión Forestal, Departamento de Ciencias Sociales, Facultad de Agronomía, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay.

***Economía y Administración, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional La Plata, Argentina.

****Departamento de Geografía Física, Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito Exterior, Ciudad Universitaria, 04510, Coyoacán, México, D. F. E-mail: joeljcr@igg.unam.mx

used to control excess water flow in the landscape by means of evapotranspiración. Good results have been reported in various countries in regard to efficient control of: flooding, soil salinization, and water-table rise. The plantation of forest species with bovine-cattle ranching (silvopastoral system) is recommended in areas of recharge and transit to local groundwater flow systems and areas of transit to intermediate groundwater flow systems, and *Tipic Udipsament*, *Tipic Ustipsament*, *Entic Hapludol*, and *Entic Haplustol* soils. The annual profit by means of the annual forest rent and silvopastoral system is evaluated. *Pinus taeda*, *Eucalyptus viminalis*, and *E. tereticornis*, gave positive results. *Prosopis sp* and *E. camaldulensis*, appear to lack financial feasibility. *Prosopis sp* could also be considered as it has good behaviour during the dry season, improves cattle ranching, and controls the water-table. A correct site selection to implant

is essential; it should be selected based on the quality and quantity of the related groundwater flow system, which must be defined with proven scientific techniques. This way, the environmental problem of flooding in the northwest Bonaerense is approached under a holistic vision of the *physical and environmental geography*. The importance of knowing the functioning of the landscape is highlighted, as well as the understanding of its dynamics, evolution, and relation with the physical, biological and human settings; such considerations are a must before proposing any environmental, economic and social practices that might prove to be sustainable.

Key words: Biodrainage, flood, silvopastoral system, forest rent, groundwater, *Prosopis*.

INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

Planteamiento del problema y características fisiográficas de la región de interés

La región noroeste de la provincia de Buenos Aires denominada *Pampa Arenosa, PA*, (5 500 km²) se caracteriza por la incidencia cíclica de inundaciones y sequías, que se registran desde 1576 a la actualidad, iniciándose el último ciclo húmedo en 1970, con un incremento del 24% de la precipitación (Moncaut, 2003). La PA pertenece a una vasta planicie por debajo de los 100 msnm, con una pendiente regional de 0.25‰, sin red de avenamiento definida, dentro de la cual se reconocen unidades geomorfológicas mayores: *Medanos Longitudinales* al norte (Figura 1) y *Medanos Parabólicos* al sur. La disposición de los médanos longitudinales, arcos paralelos a sub-paralelos con orientación NNE-SSO, resulta transversal a la pendiente topográfica regional (O-E), ejercen un notorio control en el comportamiento hidrológico, tanto superficial como subterráneo, observable en imágenes de satélite. Esta región se integró artificialmente a la Cuenca del río Salado (170 000 km²) mediante canales que unen el complejo lagunar Hinojo-Las Tunas, con el río Salado (Figura 1), quedando integrada actualmente por tres sub-regiones hídricas básicas: Noroeste (Pampa Arenosa), Salado-Vallimanca y Lagunas Encadenadas del Oeste (PMI, 1999).

Como efecto social grave de las inundaciones, se destaca la migración de población desde centros rurales y daños directos a la producción, además de

otros daños difíciles de cuantificar monetariamente que implican importantes pérdidas de bienestar para la sociedad. Así, por ejemplo, para la inundación de 1986 se estimaron los siguientes daños directos a la producción: 516 millones de USD en agricultura, 35 millones de USD en ganadería y 60 millones de USD en la infraestructura rural pública (*Ibid.*). Las obras de infraestructura realizadas en la región, generaron beneficios directos que fueron cuantificados en los estudios del Plan Maestro para la Cuenca del Río Salado (1999, 2006) a escala regional, arrojando un valor medio de Tasa Interna de Retorno Económica de 12%, con una inversión aproximada de 1.100 millones de USD. Rosa *et al.* (2006) indican que la proporción de beneficios directos debido a obras estructurales (canales) se reparte entre un 73% para la agricultura, un 11% para la ganadería, un 7% para el cambio en el uso del suelo debido a una mayor inversión por la percepción de un riesgo hídrico menor, y un 9% en daños evitados a la infraestructura. Si bien, como se indicó, las inundaciones se vinculan al incremento de la precipitación (Moncaut, 2003), se señalan también causas antrópicas. Hernández *et al.* (2003) destacan la acción negativa del hombre agravando la magnitud de las inundaciones mediante obras de infraestructura (rutas, caminos, redes pluviales o cloacales), ocupación de la planicie aluvial de ríos y lagunas, y hasta paradójicamente, obras de protección o contención, tales como canalizaciones clandestinas y otras obras sin un análisis integral de sus impactos.

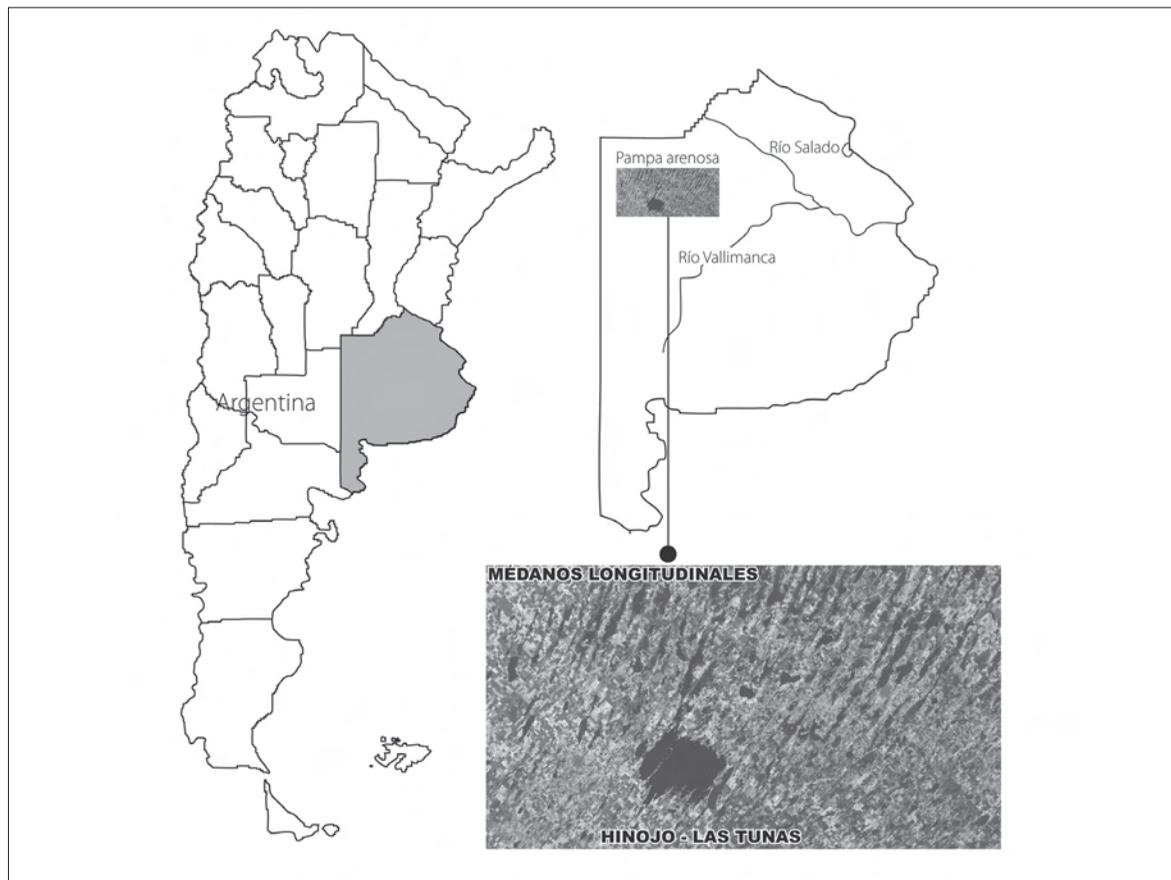


Figura 1. Ubicación en la provincia de Buenos Aires de la unidad geomorfológica de Médanos Longitudinales (la tonalidad gris intercalada entre los médanos, en imagen satelital, IS, corresponde a Depresiones Intermedanosas con agua y lagunas) IS facilitada por CONAE, Comisión Nacional de Actividades Espaciales, Argentina.

Los daños persisten en el ambiente aun retirada el agua, así en periodos secos, el suelo se degrada, con pérdida de estructura, salinización y alcalinización, debido a la evaporación y ascenso capilar del agua subterránea (Casas, 2003). La superficie freática, que hasta 1985 se encontraba lo suficientemente profunda, a partir de 1986 comienza a aflorar en los sectores más bajos, lo cual se atribuye al inicio del ciclo húmedo (PMI, 1999). Iacobucci (2000) indica que el 50% de la superficie de la región noroeste, posee agua subterránea en condiciones de tipo libre o freática, con una salinidad mayor a 2 000 mg/l (sólidos totales disueltos, STD).

El problema planteado genera entonces serias dificultades productivas, económicas y sociales, que conducen a una vulnerabilidad de los sistemas productivos imperantes en la región, los cuales se

realizan sin considerar como aquéllas inciden en el paisaje. Se aprecia así, la necesidad de analizar las prácticas de manejo agropecuarias y forestales, desde la visión holística de la *geografía*, específicamente desde la *geografía física y ambiental*.

Desde la *geografía ambiental*, se busca entender la interacción que existe entre el subsistema agua subterránea y agua superficial, así como su interacción con los sub-sistemas de vegetación, tipo de suelo, relieve y unidades geológicas involucradas (Tóth, 2000), visión que incorpora implicancias sociales y económicas asociadas.

A partir de la *geografía física*, es posible definir las prácticas de manejo de suelo para uso agropecuario y forestal en forma sustentable, basándose en la comprensión del paisaje. Mateo (1990) define al *paisaje* como un sistema territorial modificado

en sus propiedades originales, compuesto por elementos naturales y antrópicos condicionados socialmente. Benassi (2004, en Benassi y Bellis, 2005) concibe al paisaje como la unidad ecológica de superior jerarquía al ecosistema, un sistema socio-económico que acciona sobre el ambiente, siendo el *ecosistema* un sistema conformado por la comunidad biótica, suelo y clima de una determinada área o región que interactúan entre sí; y *ambiente*, el entorno que afecta y condiciona dichos sistemas, y especialmente, las circunstancias de vida de la sociedad. En el noroeste bonaerense se debe partir de la comprensión de dicho paisaje, a fin de incidir favorablemente en las alternantes inundaciones y sequías. Dentro de este criterio, la relación vegetación-suelo-agua subterránea como un criterio clasificatorio del paisaje, dada la interdependencia que poseen, define el conocimiento que es necesario considerar a fin de programar intervenciones paisajísticas con diferentes objetivos sustentables.

Efectos de prácticas de manejo en el control de agua superficial y subterránea

En la región, si bien el uso de canales ha tenido resultados y opiniones controvertidas sobre su utilidad, existiendo opiniones a favor (PMI, 1999) y en contra (Galetti, 2003). Este último autor, si bien no presenta mediciones, afirma que se pierde tierra fértil por erosión, colmatándose vías de escurrimiento con los sedimentos. Otras alternativas han sido

propuestas en otras partes del mundo. Así, Heuperman (2003) indica que en extensos territorios de Norte América, Asia, Norte de África y Australia, se han realizado experiencias aplicando el concepto del *Bio-drenaje* (BD; Figura 2): “la vegetación tiene como finalidad manejar una situación donde se considera que el exceso de agua en el paisaje puede controlarse a través de la evapotranspiración”.

Heuperman y colaboradores (2002) efectúan una revisión de técnicas de manejo de la vegetación arbórea con alto consumo de agua para el control de la superficie freática (control de descarga) o interceptando el agua infiltrada previo a que llegue a dicha superficie freática (control de recarga). Si bien el BD se utiliza en reemplazo de técnicas de ingeniería, estos autores indican que en algunos sitios el uso de ambas técnicas resulta útil. La sustentabilidad de esta opción de manejo en áreas de recarga de agua subterránea es aceptada ampliamente. Sin embargo, en áreas de descarga los árboles pueden concentrar sales en superficie, en tales casos, la implantación podría igualmente efectuarse para control de la erosión, obtención de madera para combustible, ramoneo de ganado, finalidad estética, debiendo elegirse especies resistentes a diverso estrés (déficit-exceso hídrico, alta salinidad-alcalinidad) y además, que tengan menor transpiración, tales como: *Acacia Farnesiana*, *Parkinsonia aculeata*, *Prosopis juliflora* y *Tamarix sp.*, que resisten muy alta salinidad ($\approx 32\ 000$ mg/l, STD). Tomar (2007)

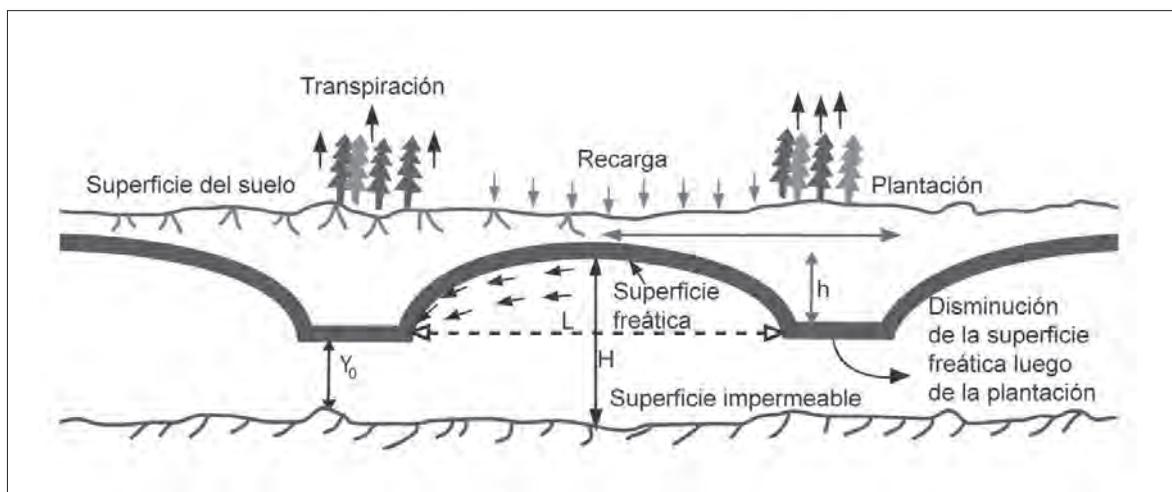


Figura 2. Esquema de funcionamiento del bio-drenaje (adaptada Heuperman *et al.*, 2002).

indica también para condiciones extremas: *Prosopis sp.*, *Eucalyptus tereticornis*, *Eucalyptus camaldulensis*, *Populus deltoide*, *Morus indica*, *Casuarina sp.*, entre otras. En áreas con problemas de drenaje se destaca el trabajo de Khamzina *et al.* (2005), quienes aplican el concepto del BD con resultados favorables en suelos hidromórficos, sódicos, textura arenosa y franco arenosa.

George *et al.* (1999) estudian 80 sitios de Australia con agricultura, y encuentran diferentes respuestas en el control de la superficie freática y salinidad con plantaciones de *Eucalyptus globulus*, entre otras coberturas vegetales, según sean plantadas en áreas de recarga o descarga. En las primeras los resultados son en general muy favorables, y en las áreas de descarga, si la salinidad del agua no es mayor a 5 000 mg/l (STD) los árboles se desarrollan abatiendo la superficie freática hasta en 2.5 m de profundidad.

Hatton *et al.* (2002) encuentran diferente control en el anegamiento y recarga al agua subterránea con prácticas de manejo con árboles, drenaje superficial y pastura, en diferente topografía, suelo y cobertura; los árboles son los que tienen mayor efecto en la superficie freática.

La retención o aporte de agua en un territorio depende de las condiciones edáficas y precipitación (Lima y Zakia, 2006). Vertessy *et al.* (2001) en Australia, con *Eucalyptus regnans* encuentran que el consumo de agua se vincula con la etapa del cultivo; el consumo aumenta hasta un máximo a los 15 años y luego se estabiliza. Esto es coincidente con lo indicado por Rébora *et al.* (2002) en *Argiudol típico* de Santa Fe, Argentina. Heuperman *et al.* (2002) indican que aún hay muchos interrogantes, y propone que el mayor impacto se logra después de diez años de plantación, resultando útil combinar con pastura.

A partir de experiencias en el terreno y datos de campo que puedan ser medidos en el futuro, es pertinente sugerir para futuros análisis, ya que no está dentro de los alcances de este estudio, la modelación de las prácticas de BD en combinación con la de obras de infraestructura a nivel regional, tal como las consideradas en el Plan Maestro de la Cuenca del Río Salado (1999, 2006), con el objetivo de visualizar el impacto en el diseño y

dimensión de la red de canales a nivel regional, de la disminución de los costos en dichas obras de infraestructura, externalidades negativas de las mismas, como así también los beneficios en los servicios ambientales de prácticas como el BD. Esto es, se requiere en futuros estudios, establecer los beneficios que el uso conjunto de canalizaciones, silvopastoreo y forestación pueden aportar a la región en general. Siendo en este caso, analizada sólo la pertinencia de implementar los sistemas de silvopastoreo y forestación.

Producción de biomasa y eficiencia en el consumo de agua

Whitehead y Beadle (2004) no encuentran diferencias de eficiencia, respecto a la producción de biomasa, entre el eucalipto y otras especies. Jobbágy *et al.* (2006) para campo natural indica 5 000 kilos de materia seca (kg MS) anual y en plantación forestal 22 000 kg MS anual. Stape (2002) en Brasil, por cada 100 mm de incremento de lluvia, el eucalipto produce 2 300 kg MS adicionales al año. La eficiencia en la intercepción del agua varió entre 48-86%, el uso del agua entre 590-1 000 mm y la eficiencia en el uso del agua (kg MS producida por 1 m³ de agua) entre 1.34-4.58 kg/m³. La producción de *Eucalyptus grandis* x *urophylla* fue de 9 400 a 32 600 kg MS anual.

En relación con la eficiencia en el uso de agua Rébora *et al.* (2002) encuentran que el *Eucalyptus durni* fue cuatro veces más eficiente que el doble cultivo trigo/soya, que consume 10% menos agua. Delgado *et al.* (2006) en Uruguay, indican una EVT mayor en eucalipto que en el pastizal. Galetti (2003) destaca el alto consumo de agua de *E. camaldulensis*, *E. viminalis* y *E. rudis*, por lo cual recomienda su implantación en sectores altos, 200 msnm, en la proximidad de las lagunas de Las Encadenadas (al sur de PA), a fin de interceptar el agua subterránea, estima que 10 millones de plantas en 10 000 ha, consumirían 5 millones de m³/día.

Importancia económica y ambiental de especies arbóreas en sistemas productivos de la región

La cuenca del Río Salado aporta el 25% de la producción nacional de granos y carne, y 20% de

los lácteos. En la región ha habido una tradición de manejo agropecuario, con muy escasa forestación, sin embargo, los antecedentes arriba citados sugieren factible implementar el criterio de BD en la región de interés en forma complementaria a las actividades tradicionales.

Sánchez y Vera (2005) indican como único proyecto viable con especies nativas, en el norte-centro del país a *Prosopis* sp “algarrobo”, la preferencia creciente de especies nativas es por diversas causas: madera de muy alta calidad, funciones sociales, generación de empleo, protección, finalidad turística, paisajística, obtención de medicamentos de especies asociadas, biodiversidad y porque son especialmente aptas para actividad complementaria, tal como silvopastoreo y agrosilvícola. Fassola *et al.* (2005) indican que en Argentina los sistemas productivos de silvopastoreo, comienzan a tener mayor aceptación en la década de 1990.

Radrizzani y Renolfi (2004) destacan las ventajas de sistemas silvopastoriles en sitios semiáridos argentinos con *Prosopis nigra*, *P. chilensis*, *P. flexuosa* y *P. caldenia*, los que presentan diferencia de consumo de agua y crecimiento; *P. flexuosa* tiene menor consumo y menor crecimiento. Todos son pioneros de alta diseminación, poseen hibridación natural, colonizadoras (fijación de médanos), melíferas, mejoran pasturas por fijar nitrógeno (100 a 400 kg/ha/año), reducen la salinidad y evaporación del suelo aumentando su materia orgánica, son freatófitas, no compiten con especies herbáceas (extraen de profundidad nutrientes y agua), fijan mucho más carbono que cualquier monocultivo de pasto, favorecen la biodiversidad, producen néctar, goma, fruto de alto contenido proteico y energético (para animales y humanos) y madera (para postes, varillas, leña y carbón) de buena calidad.

En la región del noroeste, el *Eucalyptus* sp. presenta el antecedente más destacable respecto a forestación y manejo silvopastoril con miras a contribuir efectivamente al control de inundaciones; se considera que revaloriza económica y ambientalmente a un sitio, y está propuesto en Esparrach (2000), Galetti (2003); Galetti y Esparrach (2003). Asimismo, Nakama *et al.* (2000) indican especies de *Eucalyptus* sp. aptas para la región.

Otras publicaciones, revalorizan especies nativas para uso forestal y silvopastoril (Verga, 2000; Bovino, 2006; Echeverría *et al.*, 2006). En relación con el efecto de plantaciones forestales en los ecosistemas pampeanos, Jobbágy *et al.* (2006) indican la necesidad de considerar el funcionamiento del agua subterránea para definir sitios aptos para plantar árboles según sea el objetivo que se persigue, y alertan sobre la posible salinización del suelo debajo de los árboles. Nosetto *et al.* (2007) advierten sobre la necesidad de estudiar detalladamente la redistribución de sales en el suelo.

Procedimientos utilizados para evaluar respuestas de prácticas en el medio edáfico

La diferencia encontrada en el consumo de agua de árboles se haya en parte vinculada con el procedimiento utilizado para medir el agua subterránea de un sitio. Así, se cuestiona el clásico balance hídrico, dada la imprecisión en su cálculo, y en no permitir estudiar procesos entre agua superficial y subterránea; se considera deseable utilizarse otro procedimiento probado con validez científica como lo es la herramienta de los sistemas de flujo de agua subterránea (Carrillo, 2000; Tóth, 2000). Estos autores definen el *Sistema de Flujo Subterráneo*, como “una unidad natural y coherente, en espacio y tiempo, consistente de aguas subterráneas de calidad físico-química particular, que circula por materiales geológicos con una expresión geomorfológica, con vegetación y suelo particulares”. En éstos, se reconocen *zonas*, de recarga (flujo natural de agua descendente), *tránsito* (flujo natural del agua lateral y horizontal) y *descarga* (flujo natural del agua ascendente). Cada zona tiene condiciones de agua completamente diferentes y contrastantes, que es viable identificar por *indicadores ambientales*: suelo, geomorfología, vegetación, calidad de agua, carga hidráulica y otros (Figura 3).

Asimismo, se reconoce que existen tres *sistemas básicos*: *local*, *intermedio* y *regional* (Figura 4). Éstos quedan definidos por la distancia y profundidad de recorrido del agua que lo forma (es decir, respecto a un sitio dado, a qué profundidad un agua penetró, qué distancia recorrió y dónde termina descargando). Así, puede ser que un sistema responda

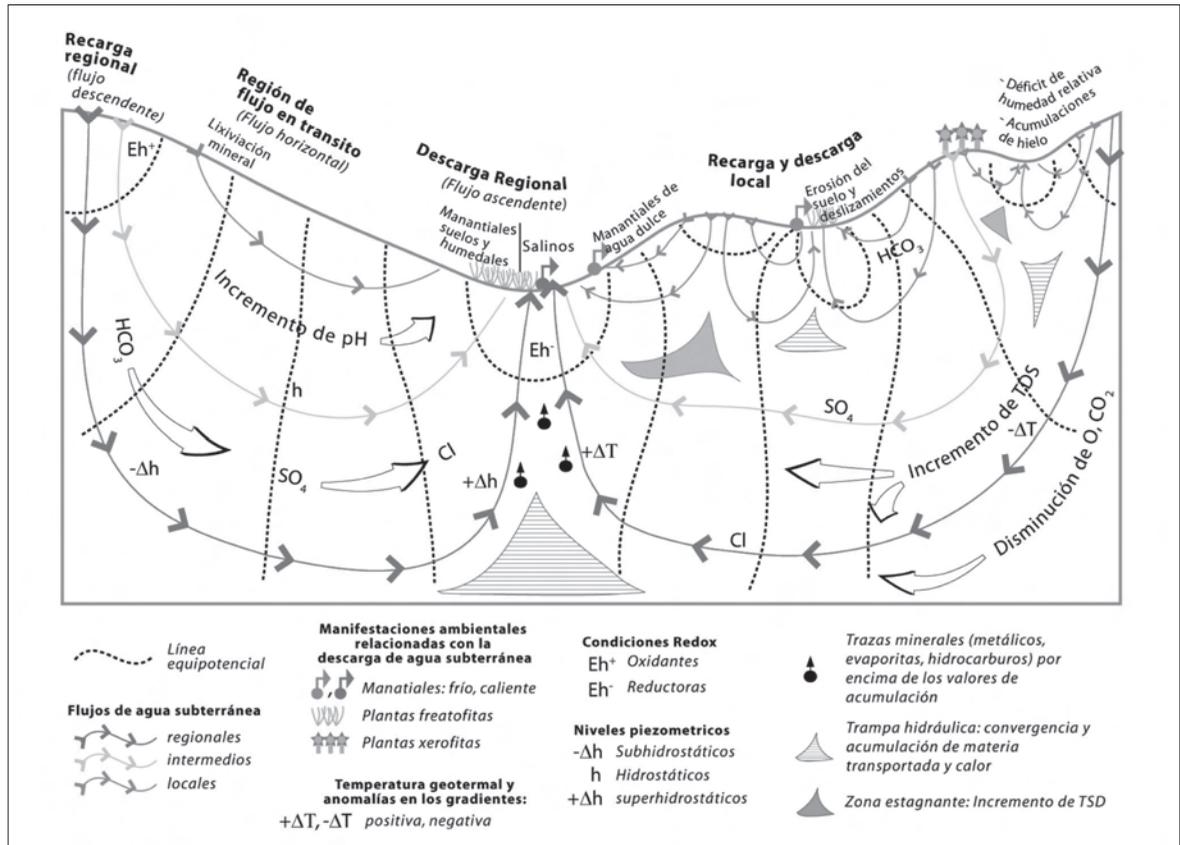


Figura 3. Sistemas de flujo subterráneo: áreas de recarga, descarga e indicadores ambientales asociados (adaptada de Tóth, 2000).

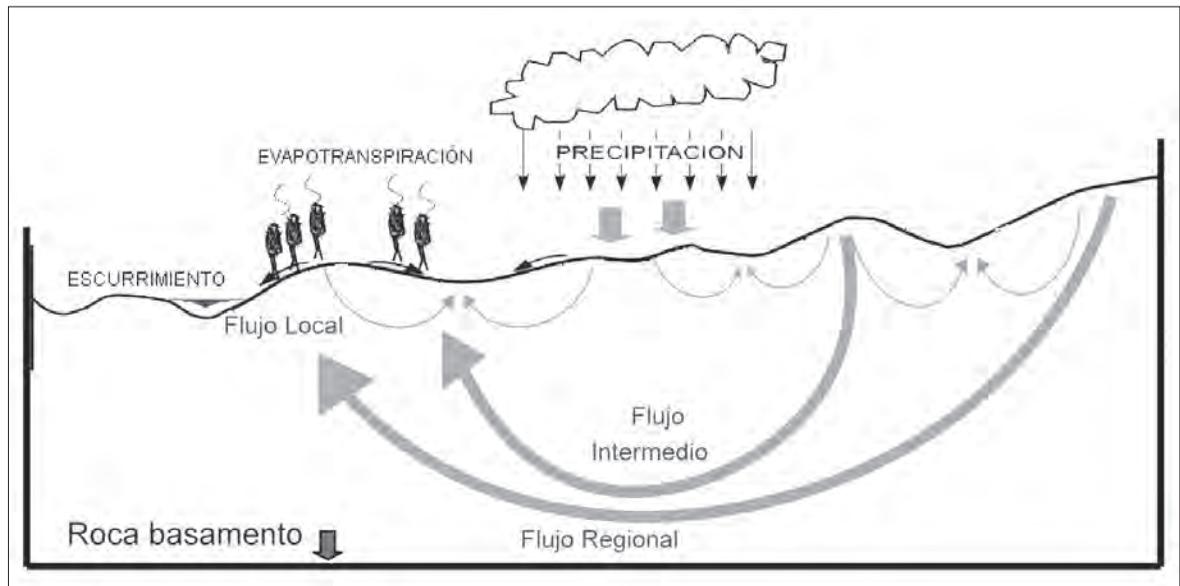


Figura 4. Sistemas de flujo subterráneo básicos: local, intermedio y regional (adaptada de Tóth, 2000).

directamente a la lluvia del sitio (sistema local) o a la lluvia ocurrida en otro sitio (sistema regional).

Los sistemas se reconocen considerando topografía, referente geológico, calidad y temperatura del agua. Los flujos mantienen en el medio subterráneo un recorrido separado (igual que las corrientes en los océanos). Así, se busca definir la *calidad físico-química* del agua para postular el funcionamiento de *zonas dentro de un sistema y tipo de sistema* existente. Esto es posible porque el agua tiene “memoria del recorrido en sus moléculas” (Alconada, 2008).

En la elección de especies a incorporar en forestación y silvopastoreo en la región, es primordial definir el sitio que ocuparán en el paisaje, y que se adapten a la situación alternante de sequía-inundación. Así, al considerar zonas de recarga y descarga como unidades que se complementan en su funcionamiento geomorfológico, químico, hidráulico, edáfico y biológico, se pueden definir prácticas de recuperación del suelo que contribuyan al control de las inundaciones. En la región, se estudiaron los sistemas de flujo de agua subterránea según Tóth (2000), definiéndose zonas de recarga-tránsito-descarga y flujos asociados, identificándose flujos locales e intermedios (Alconada, 2008). A partir de esto, se pueden establecer sitios adecuados de plantación acordes a la calidad y cantidad de agua aseguibles.

Especies adaptadas y propicias para la región de estudio

Las especies vegetales forestales promisorias para el desarrollo de la actividad forestal y silvopastoril para el noroeste bonaerense según antecedentes de informantes calificados y autores (Cozzo, 1975, 1995; Galetti, 2003; Esparrach, 2000, Lupi *et al.*, 2006), son las siguientes:

- **Árboles exóticos:** *Casuarina cunninghamiana*, *Eucalyptus camaldulensis*, *Eucalyptus rudis*, *Eucalyptus umbellata*, *Eucalyptus globulus*, *Eucalyptus tereticornis*, *Eucalyptus viminalis*, *Eucalyptus camaldulensis*, *Fraxinus sp.*, *Ulmus sp.*, *Pinus halepensis*, *P. radiata*, *P. pinaster*, *P. taeda* y *P. ponderosa*, *Salix nigra* 4, *S. matsudana x S. alba-clon 1,344*, 131-25, 131-2, 131-27.

- **Especies nativas:** Acacia melanoxylon, Acacia Visco, Robinia pseudo-acacia, Prosopis alba, P. caldenia, P. Chilensis, P. flexuosa.

Características generales del sitio para implementación forestal y manejo silvopastoril

En el noroeste bonaerense la unidad geomorfológica regional Médanos Longitudinales contiene médanos de ≈ 100 km de longitud, 2-5 km de ancho y 6 m de altura. Éstos cortan la pendiente regional, y controlan el agua de lluvia al no existir una red hídrica definida (Figura 1). Dentro de esta unidad se presentan unidades menores caracterizadas por un suelo tipo de acuerdo con lo siguiente:

Médanos, *Udipsament típico*; y *Hapludol éntico*; *Mantos*, *Hapludol éntico* y *Hapludol típico*; *Mantos someros*, *Hapludol taptó árgico* y *taptó nátrico*; *Argiudol ácuico*, *Depresiones intermedanasas*, *Epiacuol taptó árgico* y *taptó nátrico*; y *Cubetas de deflación*, *Natracuol*, *Natracualf* y *Natralbol típico* (Dillon *et al.*, 1985; Cabral, *et al.*, 1996; PMI, 1999).

Hacia el oeste de la provincia, el régimen de humedad edáfica es ústico, siendo entonces los suelos *Haplustol* y *Ustipsament*. En la Figura 5 se presenta un paisaje representativo donde se indican algunas de estas unidades. En este estudio se analizan las unidades de *médanos y mantos*. El *nivel freático* se encuentra desde pocos metros de profundidad (3-5 m) hasta aflorando, formando cuerpos importantes de agua. Los flujos de agua subterránea local se vinculan con la lluvia, se generan por filtración de ésta en la parte superior del médano y por su descarga en la base, tienen baja salinidad y temperatura. El flujo intermedio, comparado con los locales, tiene mayor recorrido y profundidad de circulación, mayor salinidad, y su respuesta no es tan inmediatamente dependiente de la lluvia. Los flujos regionales (de recorrido extremo en su profundidad, de alta temperatura y STD ie, 150 000 mg/l) no fueron identificados en el área en estudio (Alconada, 2008). La descripción de la problemática ambiental de inundación del noroeste bonaerense, bajo una visión holística de



Figura 5. Ambiente de Médanos Longitudinales, donde se aprecian Depresiones intermedanasas, sector de Mantos y Mantos someros.

la *geografía física y ambiental*, permitió con base en la caracterización regional el identificar (Alconada, 2008): *i*) cómo el agua de flujos intermedios aporta una componente importante de agua a las lagunas, la cual fue identificada por medio del análisis físico-químico del agua; *ii*) cómo el análisis espacio-temporal de imágenes satelitales ofrece evidencia sobre la frecuente ausencia de correspondencia entre la escorrentía superficial, precipitación e inundación observada; *iii*) cómo el aporte del análisis espacio-temporal de datos climáticos permite conocer una falta de correlación directa entre inundación-precipitación; *iv*) cómo la modelación de hidráulica subterránea sugiere que una infiltración máxima posible de agua de lluvia no aporta la elevación observada en campo del nivel freático, y finalmente, *v*) cómo el funcionamiento del paisaje, su dinámica, evolución y relación con los medios físico, biológico y humano, permiten dar la visión de conjunto necesaria para la recomendación de prácticas de manejo sustentables en términos ambientales, económicos y sociales. En este estudio se hace hincapié y se detallan los aspectos económicos que permiten plantear la factibilidad socio-económica de alternativas productivas que consideren las diversas componentes del paisaje indicadas precedentemente.

Los *objetivos* de este trabajo son: *i*) analizar la factibilidad técnica y económica de algunas especies

en plantación forestal y sistemas silvopastoriles en el noroeste bonaerense con alternantes sequías e inundaciones; *ii*) comparar especies nativas con especies exóticas más difundidas o mejor adaptadas en la región, y *iii*) comparar las especies seleccionadas respecto a alternativas productivas agropecuarias tradicionales de la región.

MATERIALES Y MÉTODOS

Suelos propuestos para su análisis económico

En la Tabla 1 se presentan suelos que *a priori* podrían seleccionarse para implementar sistemas silvopastoril o forestación. Se indica su aptitud para producción económica de cultivo, pastura, y especies forestales promisorias en la región (PMI, 1999). Pasturas: *pastura 1 (P1) Medicago sativa*; *pastura 2 (P2) Festuca sp y Trifolium sp.*; *pastura 3 (P3) Thinopyron ponticum y Melilotus sp.*; y pastizal natural (CN). Especies de *Eucalyptus*: *E. camaldulensis* (EC); *E. tereticornis* (ET); y *E. viminalis* (EV) (PMI, 1999). Tal como se analiza en el punto siguiente, se incluyen además: *Pinus taeda*, y *Prosopis sp.*

Los suelos de la Tabla 1 presentan diferente grado de restricción productiva en función principalmente del contenido de materia orgánica, arcilla, estructuración, textura, profundidad efectiva, retención hídrica, susceptibilidad a la erosión eólica

Tabla 1. Aptitud de uso del suelo en la región en estudio

Suelo	girasol	maíz	soya	soya segunda	trigo	Pasturas mezclas			CN	Eucalyptus sp		
						P1	P2	P3		EC	ET	EV
Hapludol éntico	M	M	M	M	M	M	M	A	MA	MA	MA	MA
Udipsament típico	NA	NA	NA	NA	NA	NA	M	M	A	MA	MA	MA
Haplustol éntico	A	M	A	M	A	A	A	A	MA	MA	MA	MA
Ustipsament típico	NA	NA	NA	NA	NA	NA	M	M	A	MA	MA	MA
Haplustol típico	M	M	M	M	M	M	M	A	MA	MA	MA	MA
Hapludol ácuico	A	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA
Argiudol ácuico	A	A	A	A	A	A	A	MA	MA	MA	A	M

Nota: MA, muy apto; A, apto; M, marginal; NA, no apto.

Fuente: adaptada de PMI, 1999.

y sequía. Las limitantes productivas comunes son: nutriente escaso, riesgo de erosión eólica, condición del perfil inadecuada por déficit o exceso de humedad. Si bien, todos resultan aptos para el desarrollo forestal y silvopastoril, se eligieron para este análisis suelos indicados como no aptos para agricultura como: *Udipsament típico* y *Ustipsament típico* (Figura 6; aptitud de uso VI-VIes) y aquéllos que tienen restricciones de uso para agricultura (marginales a aptos), principalmente en época seca, y de gran representación en la región: *Hapludol éntico* y *Haplustol éntico* (aptitud de uso Iles a IVes según Miaczinsky, 1961), (Alconada, 2008).

Tipos de especie vegetal propuestos para su análisis económico

Las especies elegidas surgen de la bibliografía citada y de informantes calificados de Argentina y Uruguay (cátedra Silvicultura). Se considera: temperatura, heladas, lluvia, permeabilidad edáfica, profundidad a superficie freática, calidad del agua (jerarquía de sistema de flujo presente) y ubicación en el paisaje. Asimismo, se requiere de semilla de origen similar a las condiciones climáticas de la región estudiada, para garantizar sobrevivencia y rendimiento final. Así, la semilla de *E. tereticornis* y *E. camaldulensis*, debe provenir de regiones frías, adaptadas a condiciones locales. En la Tabla 2 se resumen las principales características de las especies que fueron consideradas.

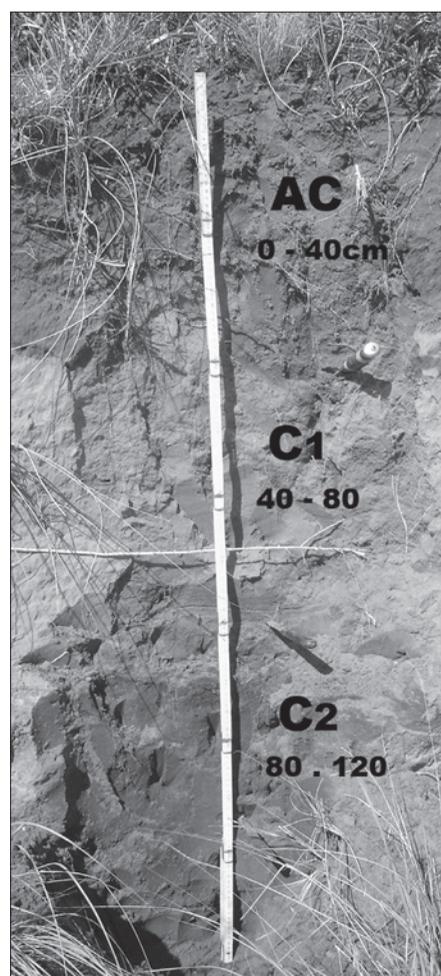


Figura 6. Suelo *Udipsament* típico, correspondiente a unidad geomorfológica de Médanos, en partes más elevadas. Secuencia de horizontes: AC - C1 - C2.

Tabla 2. Requerimientos edafo-climáticos de las especies y características productivas

Especie	Clima Temperatura Humedad	Drenaje	Ubicación topográfica	Textura- prof.	pH	CE dS/m	IMA m ³ . ha ⁻¹ año ⁻¹	TC
<i>Pinus taeda</i>	plástico-resiste frío- ETP media 0.5 m ³ /día	resistente mal drenaje	bajo-media loma	F >0,75 m	4.5- 6.5	no calcáreo	18	25
<i>Eucalyptus viminalis</i>	resiste frío, resiste sequías pero < que <i>e.c.</i>	buen drenaje	loma, > 0,75 m prof	A	< 8	< 4	18-20	13
<i>Eucalyptus tereticornis</i>	no resiste fríos requiere alta humedad	imperfecto drenaje, no encharcables	bajos a media loma-lig. ondulado	Fa - a > 1m	8.3	4	12	30
<i>Eucalyptus amaldulensis</i>	no tolera frío extremo, resiste heladas y sequías	mal drenaje e inundación temporal	bajos	a >0,75 m	> 8.8	> 8	12-15	25
<i>Prosopis flexuosa</i>	asociado a la freática, muy resistente sequía y clima frío	asociada a más humedad que <i>p.chilensis</i>	variable	A	7.6-8.9	salino degradado	13	≥30
<i>Prosopis chilensis</i>	freatófito, con < 300 mm lluvia	no tolera anegamiento	variable	A o FA	7.6-8.9	salino sódico degradado	13	≥30
<i>Prosopis caldenia</i>	resistente a frío y sequía	tolerante	bajos, depresiones	A o FA	7.6-8.9		13	≥30

Nota: textura: F: franco; A: arenoso; FA: franco arenoso; a: arcilloso; Fa: franco arcilloso- CE: conductividad eléctrica; IMA: Incremento medio anual estimado; TC: turno de corte en años

Sistemas productivos usados en el análisis económico, y procedimiento de valoración

Sistemas agrícolas - Se consideran condiciones productivas medias de la región en estudio, los rendimientos son los indicados en el PMI (1999) como valor promedio para los suelos descritos en la Tabla 1, ajustados tentativamente con base en resultados actuales por técnicas de manejo, y genética. En suelos *Haplustol* y *Hapludol éntico* se consideró maíz 5 000 - soya 2 000 - soya segunda 1 600 - trigo 2 600 - girasol 1 600 kg ha⁻¹(a). Los valores promedio para la región incluyen los mejores suelos agrícolas y años húmedos son: maíz 7 700 - soya 2 800 - soya segunda 2 000 - trigo 2 900 - girasol 2 300 kg ha⁻¹ (b).

Actividad ganadera - Se consideraron situaciones promedio de *cria*, *ciclo completo* e *invernada* para la región en estudio, criados en campo natural en forma extensiva, sobre pastura implantada. *Cria*: producción de ternero hasta 180 kg, y de carne 150 kg/ha/año. *Ciclo completo*: producción de terneros y engorde, 250 kg/ha/año de carne. *Invernada*, engorde de terneros hasta 400 kg, producción de carne 350 kg/ha/año.

Sistema silvopastoril - Sin suplementación en la dieta, y sobre pastizal natural bajo dosel arbóreo, se logra una ganancia diaria de 0.4-0.5 kg/animal (Fassola *et al.*, 2005). Se consideró una distancia entre árboles de 6 x 2 m para *Pinus* y *Eucalyptus* y de 5 x 5 m para *Prosopis*. Los animales comienzan

a pastorear cuando los árboles alcanzan aproximadamente tres años de edad (2.5-3 m de altura). Las especies evaluadas son: *Pinus taeda*, *Eucalyptus camaldulensis*, *E. viminalis*, *E. tereticornis*, y *Prosopis sp.* Se considera en forma genérica a las tres especies propuestas de *Prosopis* (Tabla 2) por no disponer de información de crecimiento para zonas equivalentes.

Se calcula el costo de preparación, implantación, establecimiento y crecimiento de las especies forestales según Caro *et al.* (2005); Galetti (2003) e informantes calificados (com. pers. Cátedra de Silvicultura, cátedra de Gestión Forestal, Facultad de Agronomía, Montevideo).

Manejo ganadero y silvícola - Carga de 1 UG/ha (unidad ganadera por hectárea), para el caso del *Prosopis* se considera una mayor carga ganadera

(1.3 UG/ha) por el ramoneo. La ganancia diaria promedio es de 0.56 kg/día/ UG.

La Tabla 3 contiene los *supuestos empleados* en las especies forestales relativos al crecimiento en madera: incremento medio anual (IMA) para una tala intermedia comercial, y diferente grado de aprovechamiento para la industria.

Precios de insumos y productos de la actividad forestal y ganadera - En este caso, la fuente de información fueron los boletines de la revista SAGPyA Forestal (2005-06) y AACREA (2005-06). El apoyo técnico respecto a los coeficientes y precios de plantación así como de los principales coeficientes ganaderos técnicos elaborados por los autores y con base en criterios de informantes calificados, se resumen en las Tablas 4 y 5, respectivamente.

Tabla 3. Supuestos de crecimiento y rendimiento de especies vegetales propuestas

Especie vegetal	IMA (m ³ /ha/año)	TC (año)	Corta intermedia (m ³ /ha)	Turno final (m ³ /ha)	Aserrado 1° (%)	Aserrado 2° (%)	Leña (%)	Picado-Celulosa (%)
<i>Pinus taeda</i>	22	25	165	385	30	20	10	40
<i>Eucalyptus viminalis</i>	19	13	74.1	173	--	50	10	40
<i>Eucalyptus tereticornis</i>	12	25	90	210	30	20	50	--
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	13.5	25	101	236	30	20	50	--
<i>Prosopis sp</i>	13	30	117	273	50	30	20	--

Nota: IMA: Incremento medio anual estimado; TC: turno de corte en años.

Tabla 4. Coeficientes y precios de plantación

Opción silvopastoreo	Año	Unidad	Cantidad	Precio unidad (USD)	Precio hectárea (USD)
Barbecho químico	0	litro	3	5.5	16.5
Preparación terreno	0	hectárea	1	75	75
Abastecimiento plantas	1	plantín	800	0.12	96
Plantación	1	plantín	800	0.11	88
Fertilización	1	plantín	800	0.06	48
Reposición	2	plantín	160	0.16	25
Control de hormiga y roedores año 0	0	hectárea	1	40	40
Control de hormiga y roedores año 1	1	hectárea	1	20	20
Mantenimiento y Administración	1...n	hectárea	1	5	5
Total					413.5

Tabla 5. Principales coeficientes ganaderos

	Ganadería (USD/ha)
kilogramo producido/animal	198
Gastos pastura	20
Suplementación	20
Mano de obra	6
Sanidad	3
Compra animales	77
Gastos comercialización	3
Valor kilogramo producido	0.3
Costo kilogramo producido	0.14
Margen bruto/kg producido	0.16
Margen bruto/ha (1UG)	33
Margen bruto /ha (1.3UG)	43

Nota: USD/ha, dólares por hectárea; kg, kilos; UG, unidad ganadera.

Preparación del terreno para el establecimiento arbóreo - Esto se presenta para dos condiciones: *a) Con anegamiento*: laboreo con rastra excéntrica, camellones en el 37% de la superficie, y se dejan en barbecho seis meses, luego barbecho químico con glifosato. *b) Sin anegamiento*, laboreo en franjas, barbecho químico y dos laboreos de

rastra de tiro excéntrico. Se siguen curvas de nivel, y alternan franjas empastadas en zonas de confluencia de agua cada 6 a 8 m.

El costo del establecimiento de especies arbóreas se presenta en la Tabla 6, que indica el costo de laboreo con *camellones*, que es de 75USD/ha.

Plantación - El *Prosopis* se planta, colocando una envoltura de “*corromet*” (Galera, 2000) para resguardar de roedores. El nivel de sobrevivencia de los plantines es de 56% a los 11 años (costo de plantación del primer año 600 USD). El resto de las especies tiene una reposición de 20% de plantas al año de plantación.

El costo de cosecha y flete puede llegar a representar el 70-85% del costo de producción de la madera. Aquellos productores ubicados lejos de los mercados o sitios de transformación de la madera tendrán costos de flete superiores respecto a los ubicados cerca. En este último caso, el productor suma a sus beneficios lo que se denomina “renta de localización”, que en definitiva es un aumento de la renta debido a una disminución del costo de flete. Así con los supuestos aquí empleados existen productos que no serán viables financieramente, por no cubrir al menos los costos de flete y cosecha. Para este caso se consideraron los siguientes descuentos por distancia: 0.1USD/m³ de madera

Tabla 6. Costo de preparación de sitio para plantación de especies forestales

	TRACTOR + RASTRA TIRO EXCÉNTRICO	TRACTOR + ENTAIPADORA	TRACTOR + PULVERIZADORA
Capacidad de campo (ha/hora)	3	2.2	26.3
Amortización	2.9	3.0	2.6
Interés	3.2	3.6	0.8
Mano de obra	0.6	0.8	0.1
Combustible	4.5	6.0	0.1
Lubricante	0.8	1.1	0.1
Repuestos	2.7	3.9	0.3
Mantenimiento	2.1	2.6	0.2
Herbicida	--	--	16.5
Administración + Imprevistos	4.7	5.9	5.8
Costo (USD/ha)	21.7	27.0	26.5

Nota: valores en USD/ha, dólares estadounidenses por hectárea.

por kilómetro para flete de distancia corta (menos de 100 km) y 0.08USD/m³ de madera por kilómetro para flete de distancia larga (más de 100 km; SAGPyA, 2005). La cosecha es semi-mecanizada con motosierra y tractor agrícola con trailer. Con esta base se resumen en la Tabla 7 los precios de la madera, sin considerar traslado.

Tabla 7. Cálculo de precios de madera

	PRODUCTO				
	Aserrado 1 ^o	Aserrado 2 ^o	Leña	Tableros partícula	Celulosa
Distancia a mercado (km)	60	60	40	170	170
Precio en destino	26	22	15	20	22
Costo Cosecha	8.5	8.5	4.5	7.5	7.5
Costo flete	6	6	4	13.6	13.6
Precio en pie (USD/m ³)	11.5	7.5	6.5	-1.1	0.9

Nota: valores en USD/m³; dólares estadounidenses por metro cúbico de madera.

En esta etapa del trabajo no se consideró el subsidio a la forestación de la ley No. 25.080 y la resolución 75/2007, donde se establece apoyo económico no reintegrable para la plantación y manejo silvícola de poda y raleo; debido a que la ley tiene vigencia por el término de diez años a partir de su promulgación (fue publicada en el *Boletín Oficial* el 19 de enero de 1999), culminaría su vigencia en el 2009. Se estima que se prorrogará la vigencia de la misma en el futuro, pero en principio no se consideró adecuado incluir en los cálculos los beneficios del subsidio. Se destaca, además, que la región del noroeste no se incluye actualmente como zona forestal, por lo cual la aplicación del subsidio no sería de aplicación directa e inmediata.

Evaluación económica de sistemas productivos

Usualmente los sistemas a comparar presentan retornos económicos asequibles para diferentes

tiempos: la agricultura tiene base anual, la ganadería base plurianual con ciclos de corto a mediano plazo, y los sistemas de silvopastoreo son de largo plazo. Por lo tanto, a fin de poder efectuar una comparación entre sistemas productivos se debe proceder a transformar los retornos económicos a una *base de comparación anual*.

Se elabora un *flujo de fondo financiero* para un periodo de 30 años, ajustado a las características productivas de las actividades involucradas. Así, es necesario elaborar márgenes brutos de las actividades ganadera y agrícola, así como los egresos e ingresos que se generan de la actividad forestal.

Los márgenes brutos de las actividades agrícola-ganadera, se calcularon para sistemas productivos medios de la región, y ajustados al tipo de suelo. A partir de éstos se calculó el *Valor Actual Neto* de las rotaciones y se llevó a una base anual tanto para los lotes de 100 ha donde una u otra actividad está presente cada año dentro del mismo lote, y en establecimientos de 400 ha, donde la rotación se distribuye en los diez años que dura dicha rotación en 240 ha agrícolas y 160 ha ganaderas, debido a que son unidades productivas representativas de la región del noroeste de Buenos Aires.

Los sistemas productivos silvopastoriles se evalúan utilizando los siguientes indicadores económico-financieros: *Valor Actual Forestación (VAF)*; *Valor Actual Ganadero (VAG)*; *Renta Ganadera (RG)*; *Renta forestal (RF)*; y *Renta de silvopastoreo (RS)*.

Se calculan con las ecuaciones siguientes:

Tomando como base el margen bruto ganadero del sistema silvopastoril, calculado en la Tabla 8, éste se actualiza desde el tercer año hasta el final del periodo considerado, mediante la Ecuación 1, donde: MB_g , margen bruto ganadero calculado en 43USD/ha para Prosopis, y 33 USD/ha para el resto de las especies forestales; n , tiempo en años; t , último año del flujo de fondos; i , tasa de descuento empleada (5 %).

$$VAG = \sum_{n=3}^t MB_g (1+i)^n \quad (1)$$

El valor obtenido en la ecuación 1, se lleva a una base anual, *Renta Ganadera (RG)*, empleando la Ecuación 2.

Tabla 8. Márgenes brutos de cultivos agrícolas

	Rendimiento (kg/ha) (a)	MB (UDS/ha)	Rendimiento (kg/ha) (b)	MB (US\$/ha)
Maíz	4 800	89	7 700	228
Trigo	2 400	95	2 900	133
Girasol	1 440	122	2 300	255
Soja	1 800	115	2 800	254
Trigo/ Soja 2º	2 600/1 600	197	2 900/2 000	298

Nota: valores UDS/ha, dólares estadounidenses por hectárea, y rendimientos en kg/ha, kilogramos por hectárea.

(a) *Haplustol* y *Hapludol éntico*, (b) valor promedio regional.

$$RG = VAG \frac{(1+i)^n i}{(1+i)^n - 1} \quad (2)$$

Asimismo, se calcula el *Valor Actual Forestal (VAF)*, el cual se obtiene de actualizar los flujos de fondo neto derivados de dicha actividad, calculando así la *Renta Forestal (RF)* mediante las ecuaciones 3 y 4.

$$VAF = \sum_{n=0}^t \frac{F_n}{(1+i)^n} \quad (3)$$

$$RF = VAF \frac{(1+i)^n i}{(1+i)^n - 1} \quad (4)$$

F_n , flujo neto anual de la actividad.

Sobre los valores obtenidos, se calculó la *renta de silvopastoreo (RS)* deducida de la *renta ganadera (RG)* y la *renta forestal (RF)* todos con base anual:

$$RS = RF + RG$$

Comparaciones efectuadas, sistema silvopastoreo vs sistemas productivos reales

En todos los casos se considera un periodo de 30 años y rotaciones de diez años, utilizando planillas Excel y aplicando procedimientos indicados en el punto anterior. Se calcula para lotes de 100 ha, y en un establecimiento de 400 ha con plan-

teo productivo que consta de 240 ha agrícolas y 160 ha ganaderas.

Las situaciones que se comparan son las siguientes:

Situación 1: Ganadería de cría en campo natural o pradera de *Eragrostis curvula*. Suelos *Udipsament* y *Ustipsament típico* (VI-VIIes) en 100 ha.

Situación 2: Ganadería de invernada en pradera de *Medicago sativa*, *Festuca sp*, *Dactylis glomerata*, *Bromus unioloides*, y *Trifolium album*. Suelo *Haplustol éntico* y *Hapludol éntico* (IIes a IVes) en 100 ha.

Situación 3-1: En el mismo tipo de suelo que en situación 2, en 100 ha, se alterna sistema agropecuario, con rotaciones de cuatro años de agricultura y seis de pradera. *Rotación de cultivos:* girasol-maíz-girasol-trigo, y ganadería (cría, ciclo completo o invernada).

Situación 3-2: Igual que la situación 3-1 pero en establecimiento tipo de la región con 400 ha.

Situación 4-1: Con rotaciones de tres años de agricultura y siete de pradera, con el mismo tipo de suelos a los anteriores. Rotación de cultivo: girasol-soya-trigo, y ganadería (cría, ciclo completo o invernada) en 100 ha.

Situación 4-2: Igual situación 4-1, pero en establecimiento tipo de la región de 400 ha.

Situación 5-1: Rotación maíz-trigo/soya 2^{da}-girasol-maíz-trigo/soya 2^{da}-girasol, seis años de ganadería (cría, ciclo completo o invernada), con suelo igual que los anteriores, y en 100 ha (trigo/soya 2^{da}: producción de dos cultivos por ciclo, soya es sembrada tardíamente).

Situación 5-2: Igual situación 5-1, pero en establecimiento tipo de la región de 400 ha.

Situación 6-1: Rotación de cultivo: soya-trigo-soya-maíz-soya-girasol, y cuatro años campo natural con cría, con el mismo tipo de suelos a los anteriores en 100 ha.

Situación 6-2: Igual a la situación 6-1, pero en establecimiento tipo de la región con 400 ha.

En las situaciones 6-1 y 6-2: se considera el rendimiento del suelo, tal como se hizo hasta aquí: (a); y con rendimientos promedios de la región como situación de máxima (b). Como se indicó, los suelos *Hapludol éntico* o *Haplustol éntico* sólo con elevada y bien distribuida precipitación, pueden producir rendimientos próximos a los rendimientos promedios

de la región, en condiciones normales los rindes de estos suelos son menores al promedio regional.

La elección de los sitios definitivos para implementar prácticas agroforestales se plantea que sea efectuada con el criterio interdisciplinario de la *geografía*, para lo cual, como se indicó, la definición de los sistemas de flujo (Toth, 2000) se aprecia como la metodología idónea, al incorporar los componentes naturales del paisaje: geomorfología, tipo de suelo, calidad físico-química del agua subterránea, posición de la superficie freática y vegetación (Figuras 5 y 6). Así, en la región se definieron a partir del análisis físico-químico de aguas de diferentes manifestaciones (pozos, freáticos, lagunas y río) la existencia de flujos locales e intermedios, identificándose dentro de éstos, zonas de recarga, tránsito y descarga. Asimismo, estas zonas y flujos fueron asociados al tipo de suelo, vegetación, geomorfología y actividades posibles (Alconada, 2008).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultados de la actividad agrícola ganadera

En la Tabla 8 se resume el *Margen Bruto (MB) de actividades agrícolas* a realizarse en (a) *Hapludol éntico* y *Haplustol éntico*, y con (b) rendimientos medios de la región.

El doble cultivo trigo/soya es el que presenta mayor MB para los dos rendimientos considerados. Los cultivos de verano presentan mejor resultado con excepción del maíz, lo que se relaciona con la mayor precipitación en los meses de verano-otoño (febrero-abril). Así, en el PMI (1999) se estima que en suelo con capacidad de retención de agua útil entre 50-200 mm, se producen normalmente en la región los siguientes déficit de humedad: maíz 104 mm, girasol 49 mm, soya 76 mm y trigo 47 mm, siendo sólo la soya de segunda, el único que no presenta déficit hídrico. Esto último, y el realizar dos cultivos por ciclo productivo, siendo además el trigo un cultivo con relativo escaso déficit hídrico, explica el resultado favorable de trigo/soya.

El *Hapludol éntico* y *Haplustol éntico* tienen muy escasa retención hídrica, presentan una susceptibilidad entre moderada a severa a la sequía.

Consecuentemente, podría producirse déficit hídrico aún mayor que el indicado precedentemente, y asociado a esto menor rendimiento y menor MB. Si bien para toda la región el rendimiento depende de la oportunidad de la precipitación, en estos suelos la dependencia es aún mayor, y adquiere relevancia el manejo del cultivo. Así, para la región se señalan diferencias de hasta 100 mm de agua edáfica a la siembra de girasol según el cultivo antecesor (con maíz, 270 mm; pastura roturada tardíamente, 187 mm; verdeo de invierno, 214 mm; (Díaz, 2000).

Los valores de *MB Ganadero* anuales (USD/ha/año) para condiciones productivas medias de la región fueron 55 USD/ha/año para cría, 124 USD/ha/año para Invernada, 82 USD/ha/año para Ciclo Completo. Los MB de actividad agrícola duplican y hasta cuadruplican los correspondientes a ganadería.

Estos suelos requieren prácticas conservacionistas y la presencia oportuna de lluvia para alcanzar los rendimientos indicados. Asimismo, tal como se mostró en la introducción, la región se caracteriza por la alternancia entre inundación y sequía, así desde 1970 (inicio de ciclo húmedo), las inundaciones fueron en: 1973, 1985, 1986, 1987, 1993, 1998, 1999, 2000, y 2001 (Alconada, 2008). En estos eventos, aun sin que afecten directamente al cultivo, tal como sucede en las lomas, se producen pérdidas generalizadas por la imposibilidad de cosechar, transportar, acondicionar y almacenar el grano. En esos años las pérdidas fueron cuantiosas y los efectos sociales devastadores, con grandes migraciones hacia centros urbanos, entre otros, por pérdida de fuentes de trabajo. Así, por ejemplo, la inundación de 1993, generó pérdidas agrícolas próximas a 150 USD millones (PMI, 1999). En relación con los años con sequía, desde el año 1970, se dieron en los años 1977, 1978, 1979, 1980, 1988, 1989, 2003, y 2005 (Alconada, 2008).

Asimismo, debe considerarse que con el inicio del último ciclo húmedo, se produce lo que se denomina "agriculturización" de la región, se incorporan tierras al cultivo que hasta entonces eran dedicadas con exclusividad a la ganadería de invernada. En consecuencia, los sistemas son frágiles y requieren de sistemas productivos sostenibles,

tal como mejorar la ganadería, y efectuar agricultura en esquemas productivos conservacionistas que incorporen, entre otras, rotaciones agrícola-ganaderas-forestales. La agricultura en suelo con alto riesgo a la erosión y alta dependencia de la oportuna ocurrencia de precipitaciones no se constituye en una alternativa productiva sustentable en términos ambientales, económicos y sociales.

En la Tabla 9 se presenta el Valor Actual Neto y Renta Anual en USD por hectárea para las diferentes rotaciones agrícolas y ganaderas propuestas, descritas en materiales y métodos (situaciones 1 a 6) para lote de 100 ha y en establecimientos de 400 ha.

Se aprecian importantes diferencias entre las situaciones propuestas, se destaca con valor mayor las situaciones con invernada y rotaciones que incluyen el doble cultivo (trigo/soya), (situación 5). Igualmente, se dieron valores mayores en otras situaciones con ganadería de invernada (situaciones 3 y 4). Por el contrario, la Renta Anual de la cría disminuye (situación 1), incluso cuando se realiza

con agricultura (situación 4 con cría). Así, por ejemplo, se destaca que aún en la situación 6a, que incluye seis años con agricultura, con cría la renta es inferior. En la situación 6b, con valores promedio de rendimiento, la RA resulta significativamente mayor; sin embargo, ésta, como se indicó, no sería posible en los suelos analizados; se incluyó a modo de referencia para su comparación con los sistemas silvopastoriles. Si bien los resultados se corresponden con las diferencias en los MB indicados en las actividades ganaderas, esto sugiere la importancia de implementar prácticas que mejoren su renta. Al igual que lo indicado para agricultura, la ganadería no será sostenible sino se procura la mejora y conservación de los médanos.

Al respecto, el silvopastoreo se torna en una actividad promisoriosa tal como se indica en la introducción. Se destaca la importancia que atribuyen Radrizzani y Renolfi (2004) en regiones semiáridas de silvopastoreo con *Prosopis sp.*, así como, Verga (2000), Sánchez y Vera (2005), Galletti (2003),

Tabla 9. Valor Actual Neto y Renta Anual que se obtiene en las diferentes situaciones agrícola-ganaderas

Situación	Rotación en 10 años		Valor actual NETO agrícola - ganadero		Renta anual (USD/ha)	
	Actividad ganadera	Rotación agrícola	Lote 100 ha (USD)	Establecimiento 400 ha (USD)	Base 100 ha	Base 400 ha
1	Cría	---	88 785	355 141	55	55
2	Invernada	---	199 774	799 095	124	124
3	Cría	G-M-G-T	127 726	665 572	83	108
3	Ciclo completo	G-M-G-T	151 294	770 000	98	125
3	Invernada	G-M-G-T	187 664	931 944	122	152
4	Cría	G-S-T	120 760	500 203	79	81
4	Ciclo completo	G-S-T	148 926	604 631	97	98
4	Invernada	G-S-T	192 606	766 576	125	125
5	Cría	M-T/S ₂ -G-M-T/S ₂ -G	185 096	710 793	120	116
5	Ciclo completo	M-T/S ₂ -G-M-T/S ₂ -G	196 825	780 411	128	127

G: Girasol, M: Maíz, S: Soja, S₂: Soja de segunda, T: Trigo, T/S₂: Trigo y Soja en igual ciclo productivo, a: rendimientos según el tipo de suelo, b: Rendimientos promedio de la región. Las rotaciones son para diez años, repitiéndose en el cálculo para un periodo de 30 años.

Bovino (2006), Echeverría *et al.* (2006), a los aspectos ambientales, sociales, culturales, e incluso económicos, evaluados a nivel de establecimiento, y a nivel de parteaguas superficial.

En las Tablas 10 y 11, se presentan Valores Actuales Netos (VAN) y Renta Anual (RA) de los sistemas silvopastoril, para cinco especies forestales seleccionadas como aptas para los objetivos de bio-drenaje, y productivos de la región.

Todos los sistemas de silvopastoreo dieron renta positiva. En el silvopastoreo combinado con *Prosopis sp* la ganadería tiene una renta más alta debido a un mayor potencial de producción de forraje y ramoneo de esta especie. Sin embargo, no se consideraron en el análisis económico otras ventajas de esta especie. Al respecto, se indica la necesidad de incorporar en estudios futuros la determinación específica del posible efecto de disminución de la superficie freática de *Prosopis sp*, y su ventaja probada como técnica de bio-drenaje en estos ambientes (Heuperman *et al.* 2002, 2003; Tomar, 2007), así como su resistencia a la sequía, aspectos que justificarían su inclusión en la región, pudiendo tal vez experimentarse en *Hapludol tapiro nátrico*, no aptos para agricultura ni otra forestación.

Tal como se aprecia en Tabla 11, la renta forestal es negativa para *E. camaldulensis* y *Prosopis sp*, lo cual es diferente a lo indicado por Sánchez y Vera (2005). El mejor resultado, en orden decreciente

Tabla 10. Valor neto actual de sistemas silvopastoril, para cinco especies forestales

		Valor actual neto silvopastoril (USD)				
		<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	<i>Eucalyptus viminalis</i>	<i>Eucalyptus tereticornis</i>	<i>Pinus taeda</i>	<i>Prosopis</i>
100 ha		38 679	106 786	83 426	114 923	29 528
400 ha		154 716	427 144	333 703	459 692	118 111

es: *Pinus taeda*, *E. viminalis* y *E. tereticornis*. Sin embargo, *P. taeda* tendría restringida su localización a suelo con *pH* ácido en todo el perfil. No obstante, si bien *P. taeda* está muy poco estudiado en la región en estudio, se destaca que posee gran plasticidad y produce madera de buena calidad en turnos medios, de modo que podría considerarse también su incorporación. La madera producida en turnos medios puede ser usada en carpintería o para insumos en el predio. En este sentido, los mejores resultados se dan con *Pinus taeda* y *Eucalyptus viminalis*. El *E. viminalis* y el *E. tereticornis* (eucaliptos colorados) se han usado localmente en cortinas de abrigo, por lo que debería contarse con buen material adaptado a la región.

Los valores tomados de crecimiento son orientativos y exploratorios de una situación promedio, para tiempos medios a largos. Esta situación tendría que ser contrastada con experimentación en campo bajo diferentes condiciones de suelo, agua y vegetación. Sería adecuado en estudios futuros, evaluar el efecto del subsidio en la viabilidad financiera de especies de bajo retorno como *Prosopis sp*.

Comparación de sistemas agrícola-ganaderos y sistemas de silvopastoreo

Se aprecia que en la actual situación económica y climática, con excepción de los suelos que resultan inapropiados para agricultura (*Udipsament* y *Ustipsament típico*), (situación 1) el VAN no resulta apropiado para que un establecimiento particular afronte la implementación de estos esquemas productivos.

Tabla 11. Renta anual (USD/ha) de silvopastoreo, forestación, ganadería y tiempo de tala final (años)

	Silvopastoreo USD/ha/año	Forestación USD/ha/año	Ganadería USD/ha/año	Años
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	25	-3	28	25
<i>Eucalyptus viminalis</i>	69	43	26	13
<i>Eucalyptus tereticornis</i>	54	26	28	25
<i>Pinus taeda</i>	75	46	28	25
<i>Prosopis</i>	19	-18	37	30

Los sistemas ganaderos de cría actual (situación 1) presentan una RA inferior a la que se podría obtener con silvopastoreo con *E. viminalis* o *P. taeda*, e igual RA que el silvopastoreo con especies exóticas, respecto a las situaciones agrícola-ganaderas tradicionales, si bien en la mayoría de los casos resultan en un VAN inferior, hay que tener en cuenta que si le imputara el ahorro de costos que podría significar en menores obras estructurales así como también el resto de los beneficios de los servicios ambientales genera la forestación probablemente se moderarían dichas diferencias. Asimismo, si bien Argentina no posee actualmente Programas de Pago por Servicios Ambientales Hidrológicos, tal como ocurre en otras partes del mundo (Banco Mundial, 2006) los resultados indican la pertinencia de incorporar esta región a dichos programas. No obstante, debe incorporarse un análisis marginal que integre en una matriz ambiental todos los beneficios, costos privados y ambientales para las unidades productivas a manera de establecer el valor del servicio ambiental propuesto.

Debe agregarse que los valores aquí obtenidos, si bien se elaboraron a partir de situaciones reales, no se consideró la posible recurrencia de inundación-sequía, y pérdidas asociadas sino, por el contrario, que persista la situación climática actual, a fin de dar un panorama más favorable en términos económicos. Consecuentemente, aun en el mejor escenario existe factibilidad técnica y económica de implementar sistemas silvopastoriles.

Si bien diferentes autores efectúan advertencias sobre el posible peligro que corren las grandes plantaciones en época seca, o sobre la salinidad (Jobbágy *et al.*, 2006; Delgado *et al.*, 2006; Noretto *et al.*, 2007), existe suficiente información a nivel mundial (George *et al.* 1999; Heuperman *et al.* 2002 y 2003; Tomar, 2007) que muestra la utilidad de la implementación forestal, aun en sitios con régimen hídrico semiárido, por sus acciones de bio-drenaje, control de la superficie freática, debiendo entonces hacerse hincapié y profundizar en los estudios que posibiliten definir los sitios donde efectivamente las actividades silvopastoriles y forestales, coadyuven en el control de situaciones climáticas extremas. En esto, el procedimiento propuesto por Tóth (2000) y Carrillo (2000) para el estudio del funcionamiento

del agua subterránea, se muestra como alternativa metodológica obligada a fin de arribar a soluciones sostenibles, y evitar el estudio de aspectos aislados del paisaje o ambiente, sin haber comprendido el funcionamiento del sistema suelo-agua-planta. Así, la identificación de zonas de recarga (superficie freática profunda) y descarga (superficie freática somera), y tipo de flujo local (agua de baja salinidad) o intermedio (agua de mayor salinidad e independiente de la lluvia presente), y como estos flujos y zonas se vinculan en el sitio de trabajo, permiten plantear para ciclos largos productivos, donde podrían ocurrir eventos de inundación y sequía, y como estas actividades podrían verse afectadas o coadyuvar en las situaciones hídricas extremas. Esto es, si un área de recarga se vincula a una descarga, ya que ambas pertenecen a un mismo tipo de flujo, el manejo de una de estas áreas afectará la otra, y ambas pueden incidir en la inundación.

Ubicación del silvopastoreo y forestación según los sistemas de flujo y áreas

En el área estudiada, como se indicó, se identificaron sistemas de flujo de agua subterránea local e intermedios, con áreas de recarga, tránsito y descarga (Alconada, 2008). Las zonas de recarga local, con agua de tipo bicarbonatada sódica, en unidades geomorfológicas de “Médanos” (partes más altas, generalmente crestas de lomas), se describen suelos *Udipsament* y *Ustipsament* y vegetación implantada resistente a la sequía tal como *Eragrostis cúrvula* (pasto llorón) o pastizal natural (*Ibid.*), en estos ambientes todos los árboles propuestos tendrían condiciones edáficas propicias para el normal desarrollo. En estas zonas, los esquemas productivos tradicionales no son sostenibles en largos plazos, no sólo por la fragilidad de los suelos, susceptibles a la erosión, sino que, además, están sujetos a fuertes sequías, circunstancias en las cuales los árboles se verán aventajados, generando además un ambiente propicio para la implantación de pasturas en su entorno.

Los suelos *Hapludol* y *Haplustol éntico*, se ubican también en las unidades geomorfológicas de “Médanos” y de “Mantos”, pero en lomas extendidas y planas, y según los estudios de agua, en general, se corresponden con aguas tipo clorurada bicarbona-

tada sódica y clorurada sódica a clorurada sulfatada (*Ibid.*). La química de estos sitios sugiere que se localizan en *zonas de tránsito de flujo local* (STD próximos a 500-600 mg/l) o de *flujo intermedio* con mayor salinidad total, y preponderancia de Cl a HCO_3 , e incluso SO_4 (> 2 500 mg/l de STD; *Ibid.*). Tal como se indicó en antecedentes, a fin de implantar árboles se recomiendan salinidades inferiores a 5 000 mg/l, llegando a profundizar la superficie freática hasta 2.5 m (George *et al.*, 1999). En los sitios con baja salinidad, pueden implantarse todos los árboles propuestos, y cuando la salinidad es mayor (flujo intermedio), todas las especies recomendadas pueden implantarse con excepción de *Pinus taeda*.

En este análisis económico no se incluyeron suelos con problemas de drenaje, correspondientes a las unidades geomorfológicas de “Mantos someros”, tales como suelo *Hapludol tauto nátrico*. Las aguas subterráneas que tienen incidencia en estos ambientes no fueron estudiadas (Alconada, 2008), sin embargo, puede estimarse que se corresponden con *área de descarga de flujo local e incluso áreas de tránsito de flujo intermedio*. En estos ambientes resulta pertinente destacar que la implementación de sistemas de silvopastoreo con especies vegetales con mayor resistencia a la salinidad, alcalinidad y condiciones hidromórficas, tendrían mejores resultados comparativos que los indicados en los suelos de este estudio (suelos de recarga). Así, la alternativa de cría vacuna, que es la única actividad posible, tendrá condiciones productivas inferiores a las dadas precedente y consecuentemente, resultados económicos inferiores a los indicados en la Tabla 9 (55 USD/ha/año para cría), mientras que la actividad del silvopastoreo no se vería de igual manera afectada. Consecuentemente, se recomienda se analicen estos ambientes y la factibilidad de implantar en silvopastoreo *Prosopis sp.*, que tal como se señaló en antecedentes, esta especie nativa tiene aptitud de crecimiento en condiciones extremas (Tabla 1), aptitud para otros usos, y fundamentalmente por sus funciones como bio-drenaje (Verga, 2000; Radrizzani y Renolfi, 2004; Bovino, 2006; Echeverría *et al.*, 2006; Tomar, 2007). Estos sitios son los que efectivamente requieren una extracción o “bombeo” de agua importante.

Al respecto se desaca el trabajo de Khamzina *et al.* (2005), quienes aplican el criterio del BD en suelos hidromórficos, sódicos, textura arenosa y franco arenosa, con salinidad media en conductividad eléctrica de 3.3-4.4 dS/m en el agua y 4 ds/m en el suelo, sin efectos negativos en el crecimiento de diversas especies vegetales. Encuentran profundizaciones de la superficie freática en 1-2 m luego de transcurrir 3-5 años de plantación, dependiendo del consumo de los árboles. Se señala que Tomar (2007) indica profundizaciones de la superficie freática muy variadas, desde pocos centímetros a metros y problemas de salinización asociados según el sitio.

En la región, Galetti (2003) señala que el *Eucalyptus sp.* de porte medio, con 100 m² de superficie foliar, la evapotranspiración media estimada puede ser de 0.5 m³/día en primavera-verano, por lo que 10 000 000 plantas constituirían lo que puede llamarse un *sistema natural de extracción* que evaporaría 5 000 000 m³/día de agua, cerca de 60 m³/s, y cubrirían unas 10 000 ha.

Sobre el efecto de las plantaciones en el entorno no plantado, son también variadas las respuestas encontradas, dependiendo de diversos factores ambientales y del árbol, se indican efectos de sólo 40 m hasta 500 m en el entorno de la plantación (Tomar, 2007). Con base en los resultados económicos obtenidos, y la fuerte tradición ganadera-agrícola de los productores regionales, el silvopastoreo resulta en una actividad promisoriosa y adecuada en todas las zonas de recarga identificadas, e incluso, en aquéllas con mayores restricciones, zonas de descargas, debiendo entonces seleccionarse como especie acompañante aquéllas que mejor se adapten a la salinidad del sitio (Tabla 1).

El análisis interdisciplinario que promueve la Geografía física para plantear y resolver una problemática ambiental, fue en este caso resuelto mediante la aplicación de los sistemas de flujo, y el conocimiento de todos los elementos naturales y condicionantes antrópicos de la región del noroeste de la provincia de Buenos Aires. Así, la visión holística de la Geografía permite reconocer con claridad la importancia de entender la interacción entre agua subterránea, agua superficial, vegetación y suelo, así como las implicaciones sociales, y económicas, de la implementación de

prácticas agropecuarias y forestales que incidirán en el paisaje.

CONCLUSIONES

Los sistemas agropecuarios tradicionales en la región, con excepción de la actividad ganadera de cría, presentan mejores resultados económicos que el silvopastoreo. El incorporar en estudios posteriores los beneficios económicos ambientales que esta última actividad tiene, mostrará mejores resultados que los aquí presentados.

Los sistemas de silvopastoreo tuvieron renta positiva con todas las especies arbóreas propuestas: *Eucalyptus camaldulensis*, *E. viminalis*, *E. tereticornis*, *Pinus taeda* y *Prosopis sp*, y se constituyen desde el punto de vista ambiental en alternativas promisorias y sustentables.

La renta forestal, si bien sólo resulta positiva con *E. viminalis*, *E. tereticornis* y *Pinus taeda*, debe incorporársele en estudios futuros, las ventajas adicionales que tendría el uso de *Prosopis*, tal como el bio-drenaje y capacidad de adaptarse a ambientes con condiciones extremas de humedad.

El combinar especies de rápido crecimiento, en turnos medios para obtener madera sólida, se constituye en la mejor opción. En ese sentido, los mejores resultados se dan con *Pinus taeda* y *Eucalyptus viminalis*.

Las características edáficas, climáticas y el funcionamiento del agua subterránea, permiten afirmar que algunos de los esquemas productivos agropecuarios actuales de la región no son sostenibles en el largo plazo y se revertirán sus beneficios ante un nuevo ciclo más seco y frecuente en la región.

La tradición productiva de la región determina que los sistemas productivos de silvopastoreo se constituyan en prácticas propicias y factibles económicamente, a fin de coadyuvar en el control de extremos hídricos, no excluyéndose la pertinencia de otras propuestas de control, según los sitios. Así, podrían contribuir en el funcionamiento de los sistemas de canales realizados a nivel regional a fin de evacuar aguas de escurrimiento.

En las áreas de recarga local, con suelos *Udipsament* y *Ustipsament típico*, pueden implementarse

por su aptitud edáfica, todas las especies consideradas en este estudio.

En zonas de tránsito de flujo local con salinidad medida en STD de 500-600 mg/l o de flujo intermedio, con salinidades entre 2 500 y 5 000 mg/l de STD, con suelo *Hapludol* y *Haplustol éntico*, en unidades geomorfológicas de “Médanos” y de “Mantos” (lomas extendidas planas), con excepción de *Pinus taeda*, el resto de especies propuestas pueden ser implantadas, denotando ventajas comparativas el uso de *Prosopis sp* en condiciones de mayor salinidad e hidromorfismo.

La implementación de la teoría de los sistemas de flujo de agua subterránea, definiendo áreas de recarga, tránsito y descarga de flujos locales e intermedios identificados en la región, se constituyó en un procedimiento que permitió integrar los elementos naturales del paisaje: suelo, geomorfología, vegetación y agua subterránea, y mostró ser exitosa su aplicación en la definición de zonas propicias para la implantación con especies arbóreas en el noroeste bonaerense.

REFERENCIAS

- AACREA, Asociación Argentina de Consorcios Regionales de Experimentación Agropecuaria (2005, 2006), Serie de precios agropecuarios [http://www.aacrea.org.ar/soft/series.htm].
- Alconada, M. M. (2008), *Procesos de inundación en el sector de médanos longitudinales del noroeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina, su relación con vegetación, suelo y agua, opciones de desarrollo*, tesis Doctoral, Posgrado en Geografía, UNAM [en evaluación].
- Banco Mundial (2006), *Environmental Services Project. Environmentally and Socially Sustainable Development Sector Management Unit*, Colombia and Mexico Country Management Unit, Latin America and the Caribbean Region, Report No. 33228-MX, México.
- Belli, E. y A. Benassi (2005), *Planeamiento paisajista y medio ambiente*, Carrera de Especialista en Planeamiento Paisajístico y Medio Ambiente, vol. I, UNLP, Argentina

- Bovino, S. M. (2006), *Revalorizar al caldén. Una especie nativa única de la Argentina y del mundo*, SAGPyA Forestal 2:(37) [<http://www.sagpya.mecon.gov.ar/new/0-0/forestacion/revistas/revista37/calden37.pdf>].
- Cabral, M., N. González, J. Giménez, M. Hernández y M. Hurtado (1996), "Análisis Geoambiental de la Región Semiárida del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires", *VI Congreso Nacional y Conferencia Internacional Geología Ambiental y Ordenamiento del Territorio*, V III, pp. 345-364.
- Carrillo-Rivera, J. J. (2000), "Application of the ground-water-balance equation to indicate interbasin and vertical flow in two semi-arid drainage basins", *Hydrogeology Journal*, V8(5), pp. 503-520.
- Caro, L. A., E. C. Pitsch, J. G. Boyer, M. S. Fuertes, M. Cordisco y M. Gandini (2005), "La forestación como instrumento para mejorar la sostenibilidad de los sistemas productivos tradicionales de la región semiárida del sur de la Pcia. Buenos Aires", *XX Jornadas Forestales de Entre Ríos, Argentina* [<http://www.sagpya.gov.ar/new/0-0/forestacion/biblos/pdf/2005/posters05/265.%20la%20forestacion%20boyer.pdf>].
- Casas, R. (2003), "Estrategias de recuperación post-emergencia de los suelos afectados por las inundaciones", capítulo 14, en Maiola, O., N. Gabellone y M. Hernández (eds.), *Inundaciones en la región pampeana*, UNLP, Argentina, pp. 217-229.
- Cozzo, D. (1975), *Tecnología de la forestación en Argentina y América Latina*, Buenos Aires, Ed. Hemisferio Sur.
- Cozzo, D. (1995), *Silvicultura de plantaciones maderables*, tomo I y II, Ed Orientación Gráfica, Buenos Aires.
- Delgado, S. I., F. Alliaume, F. García Préchac y J. Hernández (2006), "Efecto de las plantaciones de *Eucalyptus sp.* sobre el recurso suelo en Uruguay", *Agrociencia*, vol. X(2), pp. 95-107.
- Díaz-Zorita, M. (2000), "Manejando la nutrición mineral", *Revista Agromercado*, (Suplemento Girasol) [www.agrobit.com.ar/Info_tecnica/agricultura].
- Dillon, A. A., M. Hurtado, J. Giménez y R. J. Castillo (1985), "Consideraciones geomorfológicas y estratigráficas como base del carteo de suelos de un sector de la Pampa Arenosa (Pcia. Buenos Aires)", *Actas Primeras Jornadas Geológicas Bonaerense*, Tandil, pp. 737-749.
- Echeverría, J. C., E. G. Jobbagy y A. D. Collado (2006), *Aptitud Forestal de la Provincia de San Luis* [http://www.inta.gov.ar/sanluis/info/documentos/Aptitud_forestal].
- Esparrach, C. A. (2000), *Especies adecuadas para la implantación en bajos inundados* [<http://www.inta.gov.ar/balcarce/info/documentos/agric/forest/forestales.htm>].
- Fassola, A. K., N. Pachas, L. Colcombert y S. Lacorte (2005), "El sistema silvopastoril y la nueva generación empresarial", *Revista IDIA*, XXI, pp. 240-244 [www.inta.gov.ar/ediciones/idial/forest/indice.htm].
- Galera, F. M. (2000), *Los algarrobos. Las especies del género Prosopis (algarrobos) de América Latina con especial énfasis en aquellas de interés económico*, Ed. FAO.
- Galetti, M. A. (2003), *Sistemas silvopastoriles en la provincia de Buenos Aires* [<http://www.inta.gov.ar/balcarce/info/documentos/agric/forest/silvopas.htm>].
- Galetti, M. A. y C. A. Esparrach (2003), *La acacia blanca en forestaciones de uso múltiple* [<http://www.inta.gov.ar/balcarce/info/documentos/agric/forest/acacia.htm>].
- George, R. J., R. A. Nulsen, R. Ferdowsian and G. P. Raper (1999), "Interactions between trees and groundwaters in recharge and discharge areas – A survey of Western Australian sites", *Agricultural Water Management*, vol. 39(2-3), pp. 91-113.
- Hatton, T. J., G. A. Bartlea, R. P. Silbersteina, R. B. Salama, G. Hodgson, P. R. Ward, P. Lambert and D. R. Williamson (2002), "Predicting and controlling water logging and groundwater flow in sloping duplex soils in western Australia", *Agricultural Water Management*, vol. 53, pp. 57-81.
- Hernández, M., N. González, M. Cabral, J. Giménez y M. Hurtado (2003), "Importancia de la caracterización física del riesgo hídrico en la llanura húmeda", capítulo 9, en Maiola, M., N. Gabellone y M. Hernández (eds.), *Inundaciones en la región pampeana*, UNLP, Argentina, pp. 159-173.
- Heuperman, A. (2003), *Bio-drainage; a situation analysis*, Institute of Sustainable Irrigated Agriculture (ISIA) at Tatura, Australia, for the International Programme for Technology and Research in Irrigation and Drainage (IPTRID) [www.wca-infonet.org/cds_upload/1058154421850_BIO_DRAINAGE.pdf].
- Heuperman, A. F., A. S. Kapoor and H. W. Denecke (2002), *Biodrainage. Principles, experiences and applications*, International Programme for Technology and Research in Irrigation and Drainage, Food and Agriculture Organization of the United Nations-FAO, Knowledge Synthesis Report no. 6 [www.iptrid.org].
- Iacobucci, P. C. (2000), *Informe Final, Programa Provincial de Desarrollo Agropecuario de la Provincia de Buenos Aires*, SAGyP de la Nación, Oficina Riesgo Agropecuario.
- Jobbagy, E. G., M. Vasallo, K. A. Farley, G. Piñeiro, M. F. Garbulsky, M. D. Noretto, R. B. Jackson y J. M. Paruelo (2006), "Forestación en Pastizales: hacia una visión integral de sus oportunidades y costos ecológicos", *Agrociencia*, vol. X(2), pp. 109-124.

- Khamzina, A. J., P. A. Lamers, B. Wickel, Y. Djumaniyazova and C. Martius (2005), *Evaluation of young and adult tree plantations for biodrainage management in the lower Amudarya River Region, Uzbekistan*, ICID 21 st European Regional Conference, Frankfurt (Oder) and Slubice-Germany and Poland.
- Lima, W. P. and M. J. B. Zakia (2006), *As Florestas Plantadas e a Água*, San Pablo, CNPQ, (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico).
- Lupi, A. M., R. Fernández, N. Pahr, R. Martiarena, R. Pezzutti y A. Hernández (2006), "En el NE de Corrientes. Pinos en tierras bajas", *Revista IDIA XXI*, pp. 90-94.
- Mateo, J. (1990), *Apuntes del curso de posgrado Geología de los paisajes: teoría, métodos y vías de aplicación práctica*, Universidad de La Habana, Cuba.
- Miączynski, C. O. (1961), *La clasificación de las tierras por su capacidad de uso*. INTA, traducción al español del Memorando SCS-136 del Administrador del Servicio de Conservación de Suelos, Departamento de Agricultura de Estados Unidos, 1958.
- Moncaut, C. A. (2003), "Inundaciones y sequías tienen raíces añejas en la pampa bonaerense (1576-2001)", en Maiola, O., N. Gabellone y M. Hernández (eds.), *Inundaciones en la región pampeana*, UNLP, Argentina.
- Nakama, V., A. Alfieri, J. Rodríguez Traversa, A. Aleksa, R. Moschini y H. Conti (2000), *Aptitud de las tierras para eucaliptos con fines de planeamiento regional en la provincia de Buenos Aires*, SAGPyA Forestal N° 16 [<http://www.sagpya.mecon.gov.ar/new/0-0/forestacion/revistas/revista16/sueloii.htm>].
- Nosetto, M. D., E. G. Jobbágy, T. Tóth and C. M. Di Bella (2007), "The effects of tree establishment on water and salt dynamics in naturally salt-affected grasslands", *Oecología*, 152, pp. 695-705.
- PMI, Plan Maestro Integral Cuenca del Río Salado (1999), *Ministerio Economía Pcia. Buenos Aires-Halcrow-Banco Mundial*, vol. principal y 14 anexos.
- Radrizzani, A. y R. F. Renolfi (2004), *La importancia de los árboles en la sustentabilidad de la ganadería del Chaco Semiárido*, INTA-EEA Santiago del Estero [http://www.inta.gov.ar/santiago/info/documentos/sustentabilidad/0005art_arbol.htm].
- Rébori, M., F. Damiano, I. R. Díaz, J. Rodríguez Traversa (2002), *Requerimientos de agua del Eucalyptus dunnii en su implantación y monte adulto. Medición y contribución al balance hídrico regional*, Investigación Forestal al Servicio de la Producción II 209-213 [http://www.sagpya.gov.ar/new/0-0/forestacion/biblos/bloque04_2.pdf].
- Rosa, R., G. Denegri y A. González (2006), *Plan de Desarrollo Integral de la Cuenca del Río Salado: impacto ambiental, económico y territorial, Informe final*, Universidad Tecnológica Nacional, Argentina.
- Sánchez-Acosta, M. y L. Vera (2005), *Situación foresto-industrial de Argentina al 2005 (Ejemplo de una cadena forestal)*, INTA, Serie Técnica N°35, pp. 23- 44.
- SAGPyA (2005), Suplemento de Precios, *Revista Forestal* No. 35 y 36 (marzo y diciembre 2005, respectivamente), Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca, y Alimentación [<http://www.sagpya.mecon.gov.ar/new/0-0/forestacion/revistas/Revista35/precios35.pdf>]-*Revista36/precios36.pdf*].
- SAGPyA (2006), Suplementos de Precios, *Revista Forestal* N° 37 y 38 (marzo y junio 2006, respectivamente), Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca, y Alimentación [<http://www.sagpya.mecon.gov.ar/new/0-0/forestacion/revistas/>].
- Stape, J. (2002), *Production ecology of clonal Eucalyptus plantations in Northeastern Brazil*, tesis Doctoral, Colorado State University.
- Tomar, O. S. (2007), "Bio-drainage: performance of various tree species as effective Bio-drain material: en Ambast, S. K., S. K. Gupta and G. Singh, *Agricultural Land Drainage: reclamation of Waterlogged Saline Lands*, Central Soil Salinity Research Institute, Karnal, India, pp. 213-221.
- Tóth, J. (2000), "Las aguas subterráneas como agente geológico: causas procesos y manifestaciones", *Bol. Geológico y Minero*, Instituto Tecnológico Geominero de España, V111, pp. 49-26.
- Verga, A. (2000), *Algarrobos como especies para forestación: una estrategia de mejoramiento*, SAGPyA Forestal N°16.
- Vertessy, R. A., F. G. R. Watson and S. K. O'Sullivan (2001), "Factors determining relations between stand age and catchments water balance in mountain ash forests", *Forest Ecology and Management*, vol. 143, pp. 13-26.
- Whitehead, D. and C. L. Beadle (2004), "Physiological regulation of productivity and water use in Eucalyptus: a review", *Forest Ecology and Management*, vol. 193, pp. 113-140.