



MATRIZ DEL PAISAJE, ESCALAS E INTERACCIONES EN LOS SISTEMAS SILVOPASTORILES Y AGROFORESTALES

LANDSCAPE MATRIX, SCALES AND INTERACTIONS IN SILVOPASTORAL AND AGROFORESTRY SYSTEMS

Laclau, Pablo (1), Verónica Rusch (2)

⁽¹⁾ Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), EEA Bariloche, Argentina

Dirección de contacto: laclau.pablo@inta.gob.ar, Mascardi 535, (8370) San Martín de los Andes, Argentina.

⁽²⁾ Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), EEA Bariloche, Argentina

Dirección de contacto: rusch.veronica@inta.gob.ar, Paraje Villa Verde, cc 277, (8400) San Carlos de Bariloche, Argentina

Resumen

Los sistemas silvopastoriles (SSP) brindan una serie de beneficios ambientales y económicos respecto de las monoculturas agrícolas. En general se han abordado a nivel predial, aisladamente del paisaje que los contiene, con el cual intercambian materiales, energía e información. Para analizar su papel en el nivel regional, es necesario comprender conceptos de ecología del paisaje y reconocer sus componentes y sus procesos. En este artículo se comentan estos elementos y se discute la ubicación de los SSP y otros sistemas agroforestales, que simplificadaamente pueden localizarse en: (i) paisajes predominantemente boscosos, (ii) agroecosistemas, (iii) áreas de transición entre bosques y otras regiones sin bosques, ya sea en bordes naturales o de avance agropecuario. Los SSP en áreas de bosques nativos, en general históricamente afectados por ganadería e incendios, contribuyen a detener la erosión y a recuperar la cobertura arbórea de zonas degradadas, restaurando su conectividad y flujos de materia y energía. En las regiones agropecuarias, su mayor utilidad posiblemente resida en mitigar impactos ambientales adversos de la agricultura y el urbanismo, recreando refugios para algunos componentes silvestres -incluyendo controladores biológicos-, actuar como barrera ante la deriva de agroquímicos, o remover contaminantes del suelo. En ecotonos boscosos pueden restaurar la estructura forestal y los flujos que pudieran haberse interrumpido por degradación, así como también modificar la relación borde/superficie de paisajes alterados. Algunas funciones que pueden restaurar parcialmente en cualquiera de estos ambientes son la conectividad subterránea, la circulación de nutrientes, el balance hídrico, la fijación de nitrógeno o la regeneración arbórea, restituyendo biomasa y biodiversidad y protegiendo a los elementos nativos de la matriz que no están adaptados a vivir en sus bordes. Para que estos y otros efectos positivos ocurran, deben diseñarse y manejarse de modo de mantener una permeabilidad selectiva que facilite el flujo de especies o propágulos, y limite la penetración de agentes contaminantes y la expansión de especies introducidas, complementando los corredores naturales que vinculan las comunidades vegetales locales con otros ecosistemas y paisajes. En síntesis, para evaluar el impacto regional de los SSP, resulta imprescindible una mirada a escalas múltiples, la cual permite reconocer servicios ecosistémicos para el bien común más allá de los beneficios privados que pueden proveer.

Palabras clave: ubicación y manejo; jerarquía; hábitat; conectividad; funciones ecosistémicas.

Abstract

Silvopastoral systems (SPS) provide a series of environmental and economic benefits with respect to agricultural monocultures. In general, they have been addressed at the farm level, in isolation from the landscape that contains them, with which they exchange materials, energy and information. To analyze its role at the regional level it is necessary to understand concepts of landscape ecology and to recognize its components and related processes. This article considers these elements and debate about the location of



SPS and other agroforestry systems, which can be located in: (i) predominant forest landscapes, (ii) agroecosystems, (iii) transition areas between forests and other regions without forests, either on natural borders or agricultural borders. SPS in native forest areas, historically affected by livestock and fires contribute to stop erosion and recover tree cover from degraded areas, restoring their connectivity and flows of matter and energy. In the agricultural regions, their greatest utility may reside in mitigating adverse environmental impacts of agriculture and urbanism, by means of recreating shelterbelts for some wild components -including biological pest controllers-, acting as a barrier against the drift of agrochemicals, or removing contaminants from the soil. In forest transition ecotones, they can restore the forest structure and the flows that might have been interrupted by degradation, as well as modify the edge/surface ratio of altered landscapes. Some functions that can be partially restored in any of these environments are underground connectivity, nutrient circulation, water balance, nitrogen fixation or tree regeneration, recovering biomass and biodiversity, and protecting the native elements of the matrix unable to live at their edges. For these and other positive effects to occur, SPS must be designed and managed in order to maintain a selective permeability that facilitates the flow of species or propagules, limiting the penetration of contaminating agents and the expansion of introduced species, and complementing those natural corridors that link local plant communities with other ecosystems and landscapes. In short, in order to evaluate the regional impact of the SPS, it is essential to look at multiple scales, which allows us to recognize ecosystem services for the common good beyond the private benefits they could provide.

Keywords: *location and management; hierarchy; habitat; connectivity; ecosystem functions.*

INTRODUCCIÓN

Los sistemas silvopastoriles (SSP) y los sistemas agroforestales en general, son arreglos espacio-temporales de uso del suelo (Jose, 2012; Gordon et al., 1997; Williams et al. 1997). En el caso de sistemas instalados sobre bosques nativos e hipotéticamente manejados sustentablemente, salvo durante un período inicial de implementación y diseño (o rediseño) de la estructura de sus componentes leñoso, forrajero y ganadero, su cobertura forestal y sus propiedades funcionales permanecerían relativamente estables por largos períodos (Jose, 2009). En cambio, los SSP realizados con plantaciones (espaciadas) de especies forestales sobre pasturas naturales o cultivadas, prosiguen un ciclo caracterizado por una etapa inicial con estructura herbácea y subleñosa hasta que crecen los árboles, una intermedia y presumiblemente la más larga, de desarrollo arbóreo en combinación con el pasto y el ganado, y una final, en la que se eliminan los árboles gradual o abruptamente, dando lugar a un nuevo ciclo sobre el terreno desarbolado (Figura 1) (Laclau, 2012).

Entre los beneficios ambientales de los SSP y también de otros sistemas agroforestales, se destacan la mayor resiliencia ante diferentes disturbios, el mantenimiento de condiciones de naturalidad, la estabilidad estructural y de funcionamiento, y los servicios que derivan de ello, como la conservación de la biodiversidad, del suelo y el agua, el secuestro de carbono atmosférico (respecto de los agroecosistemas tradicionales) y la regulación microclimática interna (Montagnini, 2015; Corbella et al., 2015; Jose, 2012; Fernández et al., 2005). Entre los económicos se suele mencionar al mayor bienestar animal y al crecimiento forrajero, ambos factores de la producción de carne y de su calidad (i.e., Pachas et al., 2012; Pantiu et al., 2012; Fernández et al., 2005; 2002), al desarrollo de árboles de aptitud industrial para usos que requieren alta calidad de madera (i.e., González et al., 2012; Colcombet et al., 2012), a la producción de frutos alimenticios (como la algarroba, o el mistol en la Región Chaqueña) (Tagliamonte et al., 2012), y a una mayor estabilidad de ingresos debido a la diversificación de productos y de oportunidad de su realización.

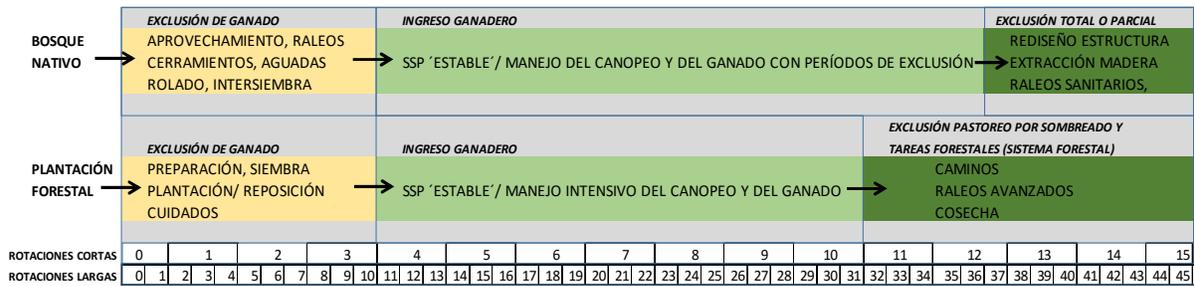


Fig. 1. Ciclo de un SSP

Ocupación temporal del suelo de los SSP, a partir de un pastizal (o rastrojo de cultivo) destinado a manejo silvopastoril con plantación forestal, o de bosque nativo degradado, reorganizado y manejado sustentablemente (Fuente: Laclau, 2012, modif.).

Las cortinas forestales, en bordes de lotes rurales o incluidas en los mismos, son otro tipo de sistema agroforestal que provee distintos servicios a los cultivos o a la ganadería (Laclau et al., 2015; Williams et al., 1997), con similares beneficios, aún en actividades complementarias como la apicultura. En la Región Pampeana, se han destacado entre los servicios más valorados por estas forestaciones lineales, la *creación de paisaje* y de *espacios recreativos*, el *refugio de fauna silvestre* y de *controladores biológicos*, la *prevención y control de la erosión del suelo*, el *secuestro de carbono*, el efecto de *filtro o barrera de contaminantes*, y la *sedimentación de partículas en suspensión* (Laclau y Domínguez Daguer, coords., 2014). Posiblemente en otras regiones del país, los aportes de las cortinas forestales y los SSP sean similares, aunque la *regulación térmica* y la del *balance hídrico* adquieren mayor relevancia en aquellas de climas extremos o de relieve montañoso (Laclau, 2012).

En general los SSP se han abordado como sistemas cerrados, es decir, considerando a sus componentes internos, su arreglo espacial y su manejo dentro de un lote o de un predio rural, aislado del entorno ambiental y económico en el cual se inscriben, desde y hacia el cual circulan insumos o productos del proceso productivo. Sin embargo, el ambiente en el que se desarrollan los SSP influye sobre las estrategias de manejo adoptadas, a la vez que éstas actúan sobre la funcionalidad de los ecosistemas cercanos. Cabe preguntarse entonces: ¿cuáles es la relación de estos sistemas prediales con el entorno? O cuando se escala del nivel de predio a ámbitos geográficos mayores: ¿cuál es el impacto de este manejo en los servicios ambientales que proveen las áreas boscosas y otros ecosistemas naturales? Debatir sobre estas preguntas, objeto de esta presentación, contribuiría a reconocer el valor estratégico de la implementación de los SSP en el paisaje que los contiene.

Salvo en áreas adonde la aptitud para plantar especies forestales ha sido promovida por el hombre, como en los oasis de riego insertos de regiones áridas o semiáridas, o en suelos bajos drenados o con enmiendas en regiones húmedas, los SSP se implementan en sitios *naturalmente* aptos para el crecimiento forestal, adonde las formaciones nativas aún perduran (a veces en su mínima expresión) en forma de bosques densos o abiertos, conservados o degradados en su estructura y funcionalidad. En general, los espacios en que se han implementado en el país SSP tanto de manejo del bosque nativo o de plantación forestal, han sufrido previamente degradación de



bosques por incendios, extracción forestal y ganadería históricos, o fueron bosques previamente reemplazados para agricultura o ganadería (aunque también para urbanización, creación de infraestructura social, minería de canteras, repositorios abiertos y otros usos).

En términos simplificados, estos sistemas de manejo agroforestal pueden insertarse en (i) un paisaje predominantemente boscoso, con bosques nativos o con plantaciones, o ambos tipos; (ii) uno dominado por agroecosistemas de cultivos o ganadería, o (iii) un paisaje de transición entre bosques nativos y otras regiones sin bosques, que en casos constituyen un límite o ecoclina natural, o un frente de avance agropecuario. Tanto en el paisaje agrícola como en el boscoso, se insertan parches que no se corresponden con la vegetación o sistema de cultivos dominante. Así, en el bosque natural hay áreas desboscadas por incendios, espejos y cursos de agua, eriales y humedales que no sostienen árboles, en tanto que en el paisaje agropecuario también hay zonas sin cultivo debido también a la presencia de espejos de agua, a relictos de formaciones leñosas, a limitantes edáficas o del relieve, o a decisiones específicas sobre otros usos del suelo.

Escalas y jerarquías

En ecología, el concepto de escala puede definirse como "la dimensión espacial y temporal que se requiere para un cambio en la tasa a la cual ocurren los procesos y en la importancia relativa de los factores que explican dichos procesos" (Galicia Sarmiento y Zarco Arista, 2002). Estos procesos, sociales, productivos o ambientales pueden analizarse a diferentes escalas espaciales, las cuales guardan una fuerte correlación con sus escalas temporales (Franklin, 1997). Así, los cambios en un bioma, pueden tener ciclos de milenios, los de un tipo de bosque de siglos, los de un árbol, anuales, la fotosíntesis a nivel de hoja, diarios, o el de un cloroplasto de minutos.

Según la teoría de las jerarquías (Allen y Starr, 1982) los sistemas ecológicos y otros sistemas complejos se encuentran estructurados jerárquicamente. Los procesos de orden superior, es decir los referidos a grandes superficies y largos ciclos temporales, restringen las posibilidades de los de las jerarquías inferiores; sin embargo éstas brindan la información para componer o explicar aquellos que los contienen (Fig.2).

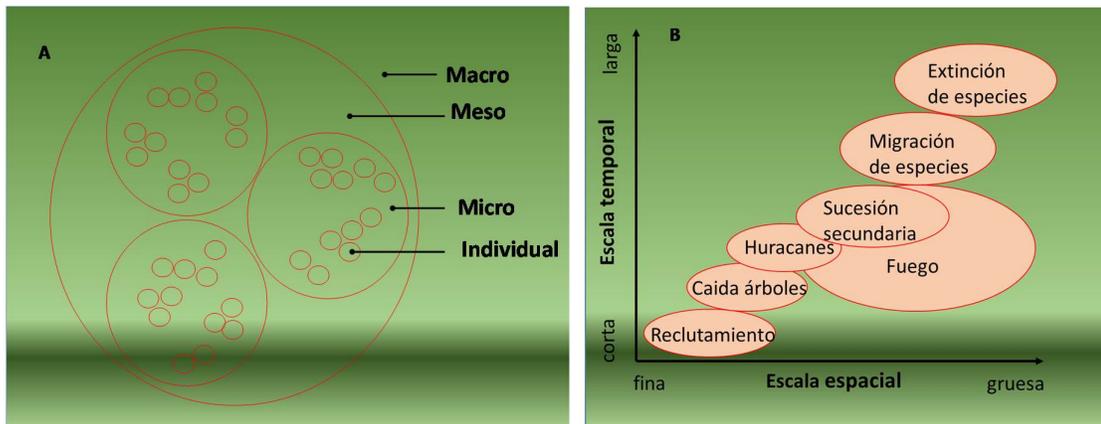


Fig. 2. Escalas y jerarquías

Sistemas organizados jerárquicamente (2A); el entorno fuera de los círculos representa el sistema de mayor jerarquía (macro), que contiene al siguiente orden (meso), constituido por un conjunto de sistemas menores (micro) que es el continente de los de menor jerarquía (micro). Las partes constitutivas de cada sistema de orden superior, que se representan como círculos agrupados, con mayor afinidad entre sí, se denominan holones⁴. En la 2B se muestra una secuencia de procesos que modulan la dinámica de un bosque sobre un plano espacio-tiempo; hacia la izquierda y abajo se encuentran los procesos de mayor escala (mayor detalle, a nivel del terreno) y hacia la derecha y arriba los de menor escala (menor detalle, procesos regionales) (Modif. de Allen y Starr, 1982).

Así como los SSP incluyen elementos propios (forraje, ganado, árboles y microambiente físico) que los constituyen y cuyas propiedades e interacciones determinan los procesos de desarrollo con sus tasas de cambio (Jose, 2012), estos sistemas se encuentran abarcados por un sistema mayor (edáfico, climático, vegetal) de escala con menor detalle (el paisaje), cuyas variables y procesos definen y condicionan a la vez su potencial (Archer, 2012). Por ello, para evaluar la sustentabilidad de los SSP más allá de sus relaciones intra-prediales, es de suma importancia comprender el rol funcional y el impacto de su diseño y acciones de manejo en el nivel regional, que variará según el paisaje en el cual se insertan y en su ubicación espacial.

El paisaje boscoso

Un paisaje es un conjunto heterogéneo de ecosistemas que se replican espacialmente y que configuran una porción del territorio contrastante con otros grandes ambientes adyacentes. Por ejemplo, los bosques nativos del norte de la Patagonia conforman un paisaje que incluye ecosistemas forestales, lacustres, humedales y eriales de alta montaña, que se distribuyen hacia ambas vertientes de la Cordillera de los Andes. Sus elementos constitutivos son la *matriz*, los *parches* y los *corredores* (Morlans y Romero, 2011; Harris y Silva-López, 1992).

La *matriz* es el espacio de mayor ocupación y conexión del territorio caracterizado por algún tipo de vegetación, dentro del cual se insertan los *parches*, espacios de ambientes diferentes que interrumpen la continuidad de la matriz (Morlans y Romero, 2011; Harris y Silva-López, 1992). Por ejemplo, dentro de la matriz boscosa de los bosques patagónicos, hay parches lacustres, claros de

⁴ Un holón es algo que es a la vez un todo y una parte. Cada sistema puede considerarse un holón, ya sea una partícula subatómica o un planeta. Dado que un holón está encuadrado en todos mayores, está influido porque influye a los todos mayores. Y dado que un holón contiene subsistemas o partes está influido a su vez por e influye a estas partes. La información fluye bidireccionalmente entre sistemas menores y mayores. <https://es.wikipedia.org/wiki/Hol%C3%B3n>



incendios, vegas, afloramientos rocosos con vegetación esteparia, zonas de recolonización forestal, etc.- Los *corredores* son áreas lineales que vinculan los parches del paisaje facilitando el flujo de organismos, nutrientes, agua y energía. Sumado a estos elementos se encuentran los *bordes*, o áreas de contacto entre corredores, matriz y parches, así como de un paisaje completo con los adyacentes. Como toda interfase, estos bordes o ecotonos tienen propiedades que los diferencian de los componentes mencionados, aunque contienen elementos de los ecosistemas que los conforman. El borde bosque-estepa en la Región Patagónica o el contacto entre el Espinal y la Región Pampeana son grandes ecotonos que configuran la transición de un paisaje a otro. Otros ecotonos locales son las áreas riparias, los bordes de una ruta, la periferia de una población, etc.-

El cambio de uso de un bosque bien conservado necesariamente apareja pérdidas en su estructura, alteración de sus flujos de energía, funcionamiento y cambios en la riqueza de especies. Los principales factores determinantes de su degradación, que llevan al extremo de la extinción de especies, son la *fragmentación* y la *pérdida de hábitats* (Perry et al., 2008, Harris y Silva-López, 1992; Bennett, 1990). Ambos procesos son diferentes pero se encuentran íntimamente relacionados. Así, poblaciones con pocos individuos, que podrían extinguirse por endogamia o por factores aleatorios, requieren mantener una población mínima viable de ambos sexos para su supervivencia. Este número mínimo debe contar con áreas aptas y de calidad suficiente que provean agua, alimento, refugio, etc., conectadas. La conectividad se relaciona con el tipo de vida silvestre que utiliza un hábitat. Así, en el caso de la fauna que se desplaza en forma diaria en un territorio, o que migra estacional o definitivamente por cambios en su calidad de hábitat -e.g., por cambio climático-, la interrupción de estos movimientos impactará sobre sus poblaciones a corto o largo plazo. Por lo tanto, ambos factores, superficie total de hábitat, y su nivel de conectividad, son esenciales.

Los paisajes de nuestro país cuya vegetación dominante está conformada por bosques naturales, en mayor o menor medida han sufrido impactos históricos o actuales derivados del desarrollo humano. En aquellos donde la matriz forestal se conserva, este desarrollo se manifiesta en los parches antrópicos del paisaje (instalaciones humanas como rutas, cultivos, poblaciones, etc.), en la ruptura e interrupción de flujos de los corredores naturales, en la degradación de la cubierta boscosa, o en el incremento de áreas de borde respecto de las áreas internas del paisaje. Pero en otros casos el paisaje forestal ha sido reemplazado casi totalmente por la expansión agropecuaria dando lugar a una matriz agrícola-ganadera adonde persisten parches boscosos y fragmentos de otros parches naturales.

La ganadería y los sistemas silvopastoriles en el paisaje

Uno de los procesos degradativos más importantes de las ecorregiones boscosas ha sido la actividad ganadera, vinculada o no a impactos previos como los incendios y la explotación forestal. En los bosques sometidos a uso ganadero por largo tiempo, particularmente en manejos de acceso abierto, la degradación del sotobosque y del suelo suele ser evidente, lo mismo que el aclareo de árboles para abastecimiento de leña, postes u otros usos rurales. La superposición de usos y la concentración de ganado en sitios cercanos a poblaciones o aguadas han generado *hot-spots* de degradación sostenida (Fig.3). En una escala regional, la persistencia de estas formas de uso conduce a largo plazo a una homogeneización del paisaje, comprometiendo procesos clave como la regeneración del bosque en toda el área. Los parches de bosque relativamente menos alterados



perduran como relictos que pueden dar lugar a la recolonización del bosque si se mejora el manejo hacia prácticas ganaderas más sustentables.

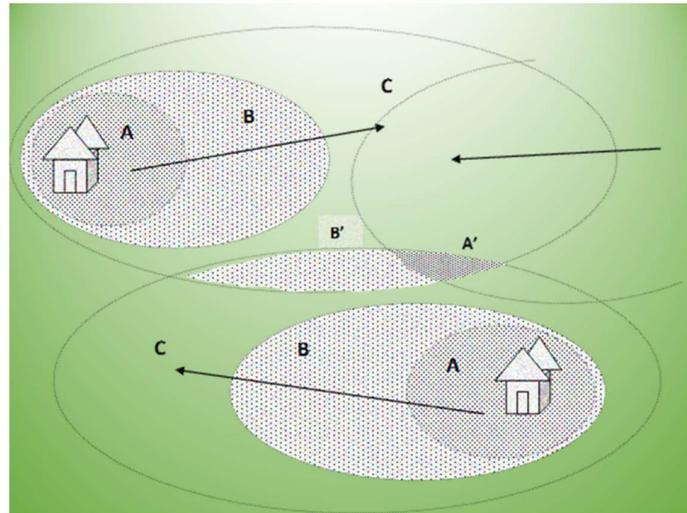


Fig. 3. Impactos de uso ganadero

Distribución espacial de los impactos de uso en el bosque por poblaciones campesinas que realizan ganadería de acceso abierto, en función de la distancia al núcleo poblacional. Los sectores más oscuros (A) representan zonas de uso muy intensivo, destinado a espacio habitacional, huerta y granja, corrales, etc.; las zonas intermedias (B) son de uso intensivo de pastoreo, extracción de frutos (i.e., algarroba en el norte, piñones en el sur), de leña, etc. con procesos importantes de degradación. Las zonas más alejadas (C) conservan parches de bosque y pastizales con bajo uso o nulo, alternado con pastoreo moderado u ocasional, además de cosechas menos intensivas de madera para leña, frutos, etc.- En los sistemas de acceso abierto, se produce superposición de uso entre usuarios intensificándose los impactos sobre el ambiente, aún a distancia de las poblaciones (B', A'). (Modificado de Laclau, 2002)

La función de mantener hábitats de calidad y conectados es esencial, pero no puede ser abordada sólo desde el manejo individual o predial. No obstante, en sitios altamente degradados por este tipo de impactos, el manejo silvopastoril puede resultar oportuno para detener procesos erosivos de ambiente y ordenar el sistema hacia su mejoramiento económico y social. Para que estos cambios positivos ocurran, los SSP deben sujetarse a algunas premisas básicas en su diseño e implementación de modo que constituyan elementos que mantengan una permeabilidad selectiva hacia las áreas boscosas circundantes facilitando el flujo de especies y propágulos, limitando la penetración de agentes contaminantes y la expansión de especies introducidas, y complementando a aquellos corredores naturales que vinculan la comunidad local con otros ecosistemas y paisajes. Es decir, la implementación SSP en términos de diseño, especies manejadas, intervenciones y movimiento ganadero, deben al menos contemplar:

- Que no se pierdan funciones ecológicas significativas en su periferia
- Que incremente, o al menos no disminuya, la conectividad actual del paisaje natural
- Que complementen, como sitios de amortiguación, a los parches de bosques de alta importancia biológica y a los corredores naturales existentes



- Que integren -donde los ecosistemas naturales no se hayan reemplazado totalmente-, especies nativas en los distintos estratos
- Que no generen contaminación ni constituyan focos de diseminación de plantas introducidas
- Que el balance entre el valor de los bienes y servicios producidos, y los bienes y servicios ambientales perdidos sea favorable

La influencia del paisaje en los sistemas agroforestales

Los estudios que caracterizan las interacciones entre los componentes de un SSP y que señalan sus beneficios productivos o económicos son abundantes, particularmente en aquellas zonas donde se han plantado especies forestales de rápido crecimiento, o pasturas subtropicales. Adecuadamente manejada, la cobertura forestal de los SSP modifica favorablemente las condiciones ambientales para el crecimiento forrajero y para los animales, en tanto que el pastizal o arbustal subyacente pueden disminuir la herbivoría sobre los árboles, fijar nitrógeno en el suelo, etc., y el ganado redistribuir nutrientes en el sitio. Sin embargo, según las etapas de desarrollo de estos sistemas (Fig. 1), los organismos presentes varían en su condición de facilitadores o competidores, y por ello, tanto la organización dinámica del sistema como la flexibilidad operativa se transforman en elementos clave para su mantenimiento y la obtención de beneficios económicos.

Estas y otras interacciones o *interferencias* (*sensu* Odum, 1971) entre los elementos vivos del sistema -sean de carácter neutro, de facilitación o de competencia-, implican la proximidad entre los organismos que interactúan (Radosevich y Osteryoung, 1987; Perry et al., 2008). En el caso del paisaje circundante a estos sistemas prediales, esta proximidad sólo se verifica en los parches contiguos, que a la vez reciben la influencia de otros parches a través de sus corredores, o de la propia matriz de vegetación. Considerando entonces una escala que trascienda los límites (prediales) del SSP, la comunidad que lo conforma se encuentra incluida en un paisaje con parches de diferentes comunidades y arreglos espacio-temporales.

Este macroambiente está conformado por la vegetación y los suelos regionales con sus estados y procesos, incluyendo los flujos y stocks del agua subterránea y los nutrientes, la rizosfera, y los distintos ensambles de flora y fauna edáficas, todos ellos elementos que permean hacia los parches silvopastoriles y los vinculan en el paisaje. También en la superficie y en el aire, los flujos de agua, de nutrientes, animales, de polen, de propágulos de plantas y la regulación que la comunidad vegetal ejerce sobre la temperatura, el viento y la humedad ambiente, son factores externos que afectan la estructura y funcionamiento de los SSP. Es por ello que en ambientes abiertos, esteparios, aunque también en zonas muy cálidas o muy frías, la protección de los árboles propios del sistema silvopastoril constituye un factor estratégico para la producción forrajera y ganadera, aspectos que en un ambiente netamente boscoso tendría poca relevancia. También en zonas agrícolas, los sistemas agroforestales proveen refugios de vida silvestre y constituyen una barrera o una trampa eficaz de contaminantes aéreos o subterráneos. La incidencia de la radiación en el pasto, controlada en primera instancia por la latitud y la exposición del relieve, depende más fuertemente del diseño espacial del componente forestal en sitios de vegetación baja, que en los de áreas boscosas contiguas, adonde los efectos de sombreado lateral pueden ser significativos.



Los SSP en un paisaje predominantemente boscoso

En aquellos sectores boscosos donde aún los reemplazos por actividad humana no son significativos los SSP pueden resultar estratégicos para mejorar áreas de bosques degradados por ganadería o dentro de grandes parches generados por incendios u otros disturbios. En estos casos, la incorporación de árboles y el control del pastoreo pueden contribuir a una cicatrización más pronta y efectiva del paisaje. En bosques relativamente continuos pero sometidos a ganadería extensiva, la sustitución del pastoreo escasamente controlado por estos sistemas agroforestales organizados, aún dentro de la matriz arbórea, pueden también contribuir a la restauración ecológica. En ese sentido, los SSP pueden ser generadores de una cobertura estratificada incrementando la conectividad forestal, o atenuar procesos de fragmentación y degradación del suelo y de la vegetación, o recuperar nichos ecológicos y proveer refugio para algunas especies, aún de carácter temporal, con la exclusión periódica del ganado.

También es posible que aisladamente, y fuera de estas situaciones en que contribuirían a la remediación de ciertos sitios, sus efectos sobre el paisaje sean insignificantes. Pero también, la implementación de SSP en una matriz del bosque nativo, por su agregación, ubicación o escala, podrían constituir un factor de fragmentación y pérdida de hábitat. Esto ocurre particularmente en situaciones, poco frecuentes, de implementación de SSP a partir de bosques relativamente densos y con el sotobosque original.

Por ejemplo, en un bosque continuo y relativamente homogéneo la continuidad biológica y estructural de la matriz permite un amplio intercambio de materia y energía entre dos puntos cualesquiera, prácticamente sin limitaciones, o eventualmente sorteando parches que la propia dinámica del bosque origina (Fig. 4A). Pero la ocurrencia de otros parches originados en avalanchas, inundaciones, incendios, etc., o las variaciones propias del relieve, suelo y clima locales, suelen determinar una sectorización de los espacios por los que discurren los flujos (Fig. 4B). También los emplazamientos rurales añaden parcelas de cultivos y ganado, o de espacio habitacional, incrementando el número de parches o modificando las características de los existentes (Fig. 4C). Algunos SSP -que son promovidos por normas, estímulos de mercado o apoyo gubernamental-, podrían incrementarse en forma sustantiva, y si se implementan sobre sitios boscosos sin considerar las características de esa matriz, modificarían significativamente su estructura a través de aclareos, plantaciones lineales, homogeneización de estratos, siembra de pasto y la propia acción del ganado. De este modo pueden transformarse en barreras para los flujos naturales y el mantenimiento de la dinámica del bosque, contribuyendo a la fragmentación de la matriz o a la obstrucción de corredores que vinculan parches (Fig. 4D). En cambio, su instalación dentro de parches que no cumplen un rol funcional dentro del ecosistema boscoso (i.e., sitios quemados afectados por procesos erosivos severos, laderas fuertemente desestabilizadas, focos de diseminación de plantas invasoras) sino que son factores de disturbios expansivos, puede incorporar componentes y procesos que contribuyen al restablecimiento de la cobertura forestal.

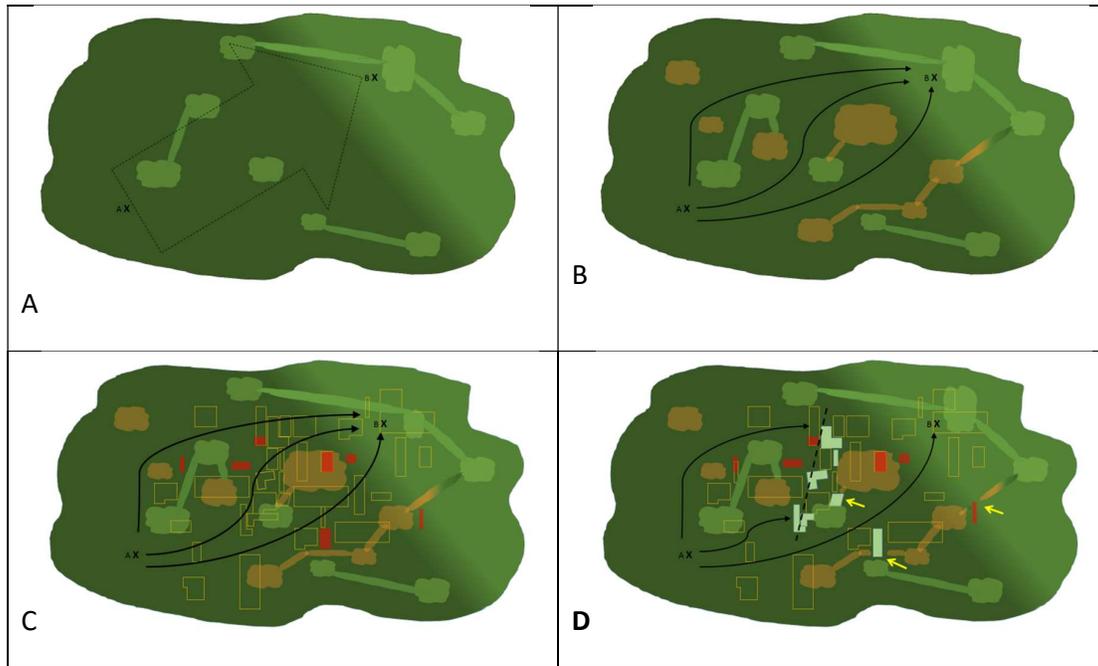


Fig. 4. Paisaje boscoso

Paisaje con matriz boscosa (fondo, verde oscuro) y parches de origen endógeno con corredores que los vinculan (formas contorneadas y lineales, verde claro); la materia y energía fluye libremente (flecha punteada) entre dos puntos (X) cualquiera A y B (4A). La ocurrencia de otros parches de origen exógeno, pero también accidentes geográficos que integrados a la matriz, con sus corredores (formas contorneadas y lineales, marrón claro) determinan que los movimientos de materia y energía de la matriz se canalicen por distintos sectores (flechas oscuras) (4B). Algunos cultivos o ganadería intensivos (rectángulos sombreados, rojizos) agregan nuevos parches dispersos a la matriz, en lotes (rectángulos de bordes amarillos) que mayormente mantienen la cobertura boscosa (4C). La incorporación de SSP prediales en forma relativamente concentrada (formas rectangulares, azul claro) actúan como una membrana semipermeable (línea de puntos, oscura), ampliando los parches antrópicos en la matriz, restringiendo o impidiendo flujos a través de ellos, a la vez que, como la agricultura, rompen la conectividad (flechas, amarillas) de algunos parches (4D).

Los SSP en agroecosistemas

En los agroecosistemas, la matriz del paisaje está conformada por lotes de pasturas y cultivos anuales o perennes, y los parches se presentan como centros urbanos, algunos remanentes de ecosistemas naturales terrestres y acuáticos, construcciones rurales, etc., en tanto que los corredores presentes son los caminos con sus banquetas, las vías férreas y fluviales, y algunas formaciones naturales lineales o encadenadas. Aún dentro de los paisajes más transformados perduran remanentes de los ambientes originales, como parches de bosques, pastizales de bañados, lagunas, afloramientos de roca, o praderas y cultivos abandonados con restauración parcial de la vegetación autóctona.

La subdivisión de la tierra suele estar ligada a la fertilidad del suelo y a la existencia de centros urbanos, infraestructura vial, accesibilidad, etc.- Por ello en paisajes altamente transformados, los cultivos conforman un mosaico característico que varía a lo largo de distintos gradientes. En la periferia de las ciudades la subdivisión de la tierra es intensa, y junto con usos sociales -como barrios



residenciales, centros recreativos, reservorios de agua o centros de disposición de residuos urbanos-, suelen desarrollarse cultivos intensivos fruti-hortícolas o actividades de granja, ya que el limitado tamaño de predios y el precio de la tierra -que compite por demandas urbanas-, no permiten formas de agricultura menos intensivas. Hacia afuera de los cinturones verdes locales se suceden áreas de cultivo de cereales y oleaginosas, o también de producciones regionales como caña de azúcar, yerba mate, plantaciones forestales, frutales, etc., todas de mayor escala y de relativamente menor rentabilidad por unidad de superficie que la horticultura y la granja, lo mismo que las producciones ganaderas basadas en pasturas. Los grandes establecimientos adonde se realizan actividades mixtas agroganaderas, o contienen parches relativamente importantes de vida silvestre son un importante componente del diseño antrópico de estos paisajes.

En la Fig.5, se muestran gráficos de la matriz agropecuaria con sus parcelas, parches y corredores, y la inserción de sistemas silvopastoriles y agroforestales en el paisaje (Fig.5A). En particular, estos sistemas pueden contribuir -más allá de las motivaciones individuales de sus emprendedores-, a una estrategia de mitigación de impactos ambientales adversos de la agricultura y el urbanismo, o a la restauración de algunas funciones ecológicas de los sistemas naturales reemplazados. Distribuidos aisladamente (Fig. 5C), sus potenciales efectos beneficiosos de protección (del suelo, del agua), de barrera (de contaminantes), o de hábitat, se restringen al sitio de instalación y a un entorno localizado. En cambio, en la interfase urbano-rural, la instalación de montes de reparo y el arbolado de cascos, el manejo silvopastoril y la instalación cortinas forestales puede ejercer un efecto importante de recreación de hábitat y de conectividad para algunos componentes silvestres, algunos de ellos beneficiosos para los cultivos como controladores biológicos de plagas-, y de eficaz barrera para la contención de la deriva de agroquímicos, o la absorción de contaminantes del suelo.

Tanto por el valor de la tierra de aptitud agrícola como por la extensión de los predios, las cortinas forestales perimetrales son más viables en el sistema productivo que otras alternativas agroforestales (Figs. 5D, 5F). Por otra parte, en sectores más alejados y en sitios donde aún perduran parches de vida silvestre y corredores naturales, la concentración de lotes o predios bajo SSP puede reconectar grandes porciones de las áreas naturales, o al menos disminuir su fragmentación (Figs. 5E, 5F).

Los SSP en áreas de borde

Los ecotonos o bordes naturales mantienen una alta diversidad, generalmente mayor que la de los sistemas adyacentes, ya que albergan especies de paisajes o de parches colindantes, particularmente aquellas de distribución amplia o generalistas. Son franjas de transición y de amortiguación de los procesos que ocurren a cada lado, comportándose como una membrana semipermeable que permite selectivamente el flujo de organismos y energía entre los sistemas que delimitan. En los bordes que involucran elementos leñosos, los SSP pueden contribuir a restaurar su permeabilidad selectiva o los flujos que pudieran haberse interrumpido. También pueden modificar la relación borde/superficie de paisajes o parches con sus límites naturales alterados. En la Fig. 6 se representan dos paisajes colindantes, uno agrícola y otro boscoso, en cuya zona de contacto concurren elementos de ambos sistemas y se mantienen flujos bidireccionales. Estos bordes pueden presentarse como límites abruptos o como franjas de transición gradual de una matriz a la otra, en función de gradientes naturales (climáticos, topográficos y edáficos) y de los procesos humanos que actúan (Fig. 6A).

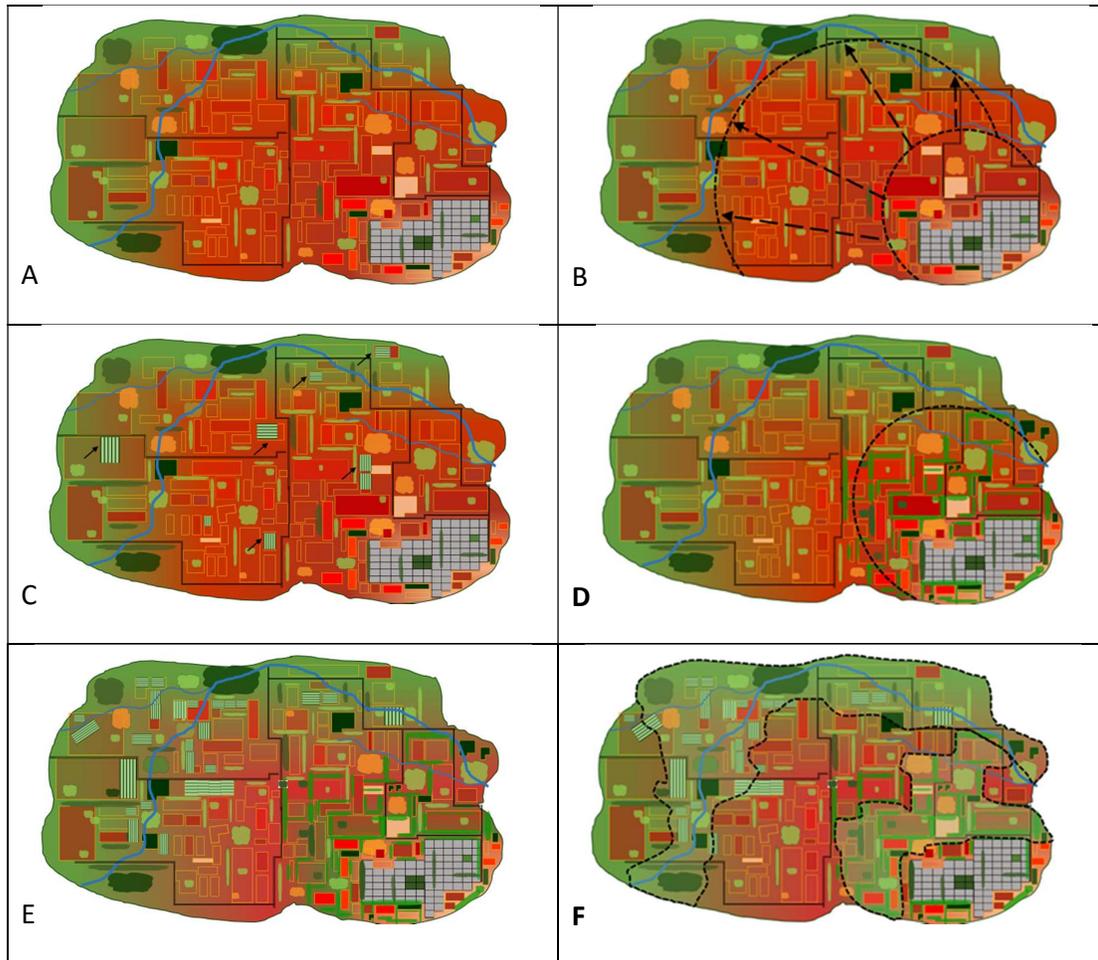


Fig. 5. Paisaje con matriz agropecuaria

En Fig. 5A se muestran lotes (recuadros de líneas claras) de cultivo o ganadería intensivos (fondos rojos) y otros agroecosistemas con menor intensificación (lotes mayores, fondos verdes), con inclusiones de parches de ecosistemas nativos, montes implantados, cultivos abandonados (formas circulares irregulares verdes y ocre dentro y fuera de los lotes), y forestaciones lineales (formas alargadas verdes) en el contorno de lotes y bordes de rutas (líneas, rectas, oscuras). A partir de los centros poblados (área de recuadros grises), es posible identificar gradientes de uso; uno muy intensivo y de marcada subdivisión, asociado a la periferia de la población, seguido de un área de uso intensivo en lotes mayores en un paisaje netamente agrícola, y uno más distante, de usos intensivos y extensivos en establecimientos más alejados (Fig. 5B). En Fig. 5C se indican lotes de manejo silvopastoril establecidos en parches aislados en todo el paisaje (recuadros rayados indicados con flechas). En el área periférica a la ciudad (Fig. 5D, semicírculo), la implementación de sistemas agroforestales basados en cortinas (formas lineales claras y oscuras) permite amortiguar y circunscribir impactos de uso agrícola intensivo (y urbano). En áreas más alejadas, la instalación de sistemas silvopastoriles próximos a los ríos (líneas azules sinuosas) y reconectando parches naturales o antrópicos permite recomponer flujos de materia y energía restaurando la conectividad natural que establecen las vías hídricas (Fig. 5E). Esta estrategia de combinación de lotes silvopastoriles y otras formas de agroforestería contribuye a consolidar áreas naturales y seminaturales o a establecer zonas de amortiguación de impactos negativos de la agricultura y el urbanismo (Fig. 5F, áreas sombreadas delimitadas por líneas interrumpidas).

En agroecosistemas que expanden sus límites a expensas de los bosques nativos y otras áreas naturales, el reemplazo agrícola es el principal *driver* de presión sobre el ecotono (Fig. 6B). De este modo su área se estrecha o se desplaza hacia el interior del bosque, modificándose su distribución natural y perdiendo sus propiedades de riqueza específica y de amortiguación de distintos flujos



entre sistemas (Fig. 6C). Los SSP implementados en estas zonas de borde, pueden restaurar parcialmente algunas funciones de los bosques reemplazados, como la conectividad subterránea, la circulación de nutrientes, el balance hídrico, la fijación de nitrógeno, la cobertura del dosel, etc., restituyendo biomasa y biodiversidad y protegiendo a los elementos nativos de la matriz que no están adaptados a vivir en sus bordes.

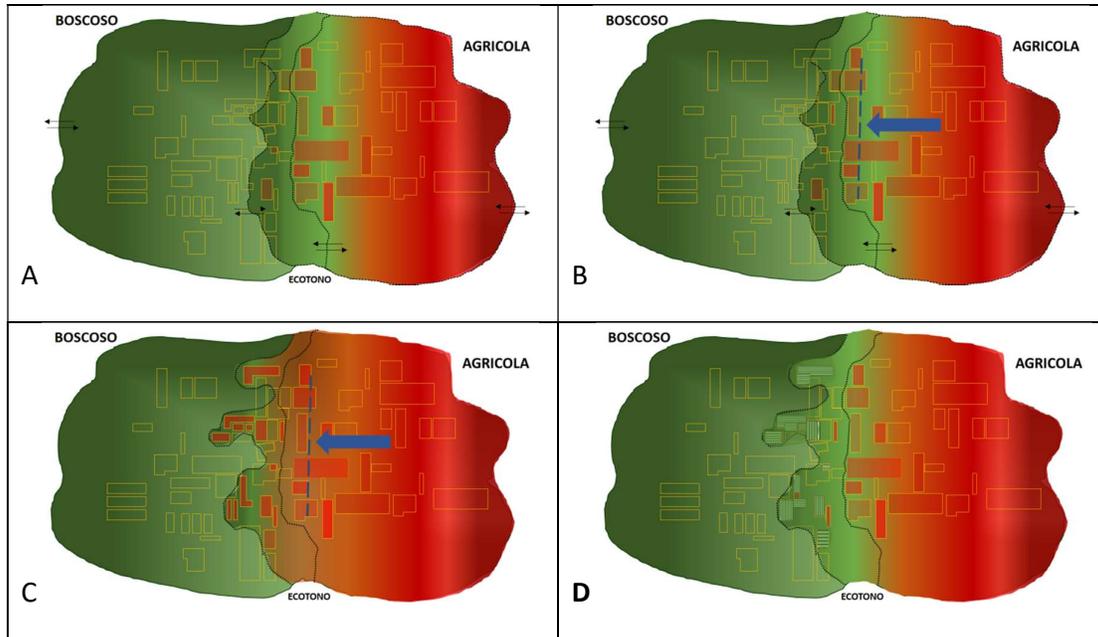


Fig. 6. Áreas de borde

Transición entre un paisaje agropecuario (tonos rojizos, der.) y uno forestal (tonos verdosos, izq.). En la Fig. 6A se representan los predios catastrales (recuadros de líneas claras), algunos con agricultura (recuadros rojizos, o con sombreados) y otros con ganadería bajo cobertura de árboles, con manejos forestales o con su estructura natural conservada y la franja de transición (ecotono) entre ambos paisajes. Las flechas representan flujos de materia o energía entre ambos paisajes y con sus bordes. El avance agropecuario (flecha y línea interrumpida gruesas, Fig. 6B) presiona sobre el ecotono, ejerciendo un reemplazo parcial del mismo por cultivos y desplazando el borde hacia el interior del bosque nativo (Fig. 6C). La introducción de SSP, o el reemplazo de cultivos agrícolas por estos sistemas en el frente de avance (Fig. 6D), contribuiría a restaurar componentes y funciones de los ecosistemas boscosos y a estabilizar esta frontera agropecuaria.

SÍNTESIS Y CONCLUSIONES

Los SSP y otros sistemas agroforestales arrojan una serie de beneficios ambientales y económicos respecto de otros usos agropecuarios tradicionales. Pero a pesar de la abundante información sobre su comportamiento y manejo, aún no se ha abordado suficientemente su relación con el paisaje en que se inscriben. Sin embargo, los SSP adecuadamente planificados en la matriz del paisaje, podrían constituir usos estratégicos para la conservación o la minimización de impactos sobre los bosques naturales, o bien contribuir al mejoramiento de las condiciones ambientales en áreas de borde o en agroecosistemas.



En los ecosistemas boscosos, el mantenimiento de la cobertura arbórea y del suelo, de los flujos de materia y energía, y del clima local resultan fundamentales para su conservación. Uno de los procesos degradativos más importantes es la actividad ganadera extensiva, vinculada en casos a otros impactos previos de incendios o explotación forestal. En estos ambientes, el manejo silvopastoril puede resultar apropiado para detener procesos erosivos, sostener la estructura vegetal, los flujos bióticos y abióticos, y ordenar el paisaje estabilizando o revirtiendo procesos deteriorantes.

Para que estos cambios positivos ocurran, los SSP deben sujetarse a algunas premisas básicas en su diseño e implementación de modo que constituyan elementos que mantengan una permeabilidad selectiva hacia las áreas boscosas circundantes. Básicamente, que complementen el diseño natural permitiendo la conectividad, los flujos de energía y el mantenimiento de los ecotonos, a la vez que no sean generadores de contaminación física, química o biológica. No obstante, también por su agregación, diseño, ubicación o escala, podrían constituir un factor de fragmentación.

En los agroecosistemas, los SSP y también las cortinas forestales pueden ser utilizados para la mitigación de impactos ambientales adversos de la agricultura y el urbanismo, restaurando algunas funciones ecológicas de los sistemas naturales reemplazados o conformando estructuras nuevas semipermeables. Los efectos de protección, filtración, trampa o barrera ante procesos erosivos o contaminantes, o de refugio de vida silvestre y de controladores biológicos, pueden ser sustantivos para el mejoramiento de la producción y de la propia salud humana y del ambiente (Noriega-Altamirano et al., 2015). También en las áreas de borde que involucran elementos leñosos, los SSP pueden restaurar la permeabilidad selectiva de los ecotonos, restaurando los flujos que pudieran haberse interrumpido. A la vez pueden modificar favorablemente la relación borde/superficie de paisajes o parches con sus límites naturales alterados.

Los SSP, así como otros usos de la tierra, tienen efectos sobre una diversidad de servicios ecosistémicos (de provisión de bienes, de regulación y sostén de funciones ecológicas, culturales), aunque desde las ciencias agropecuarias se suelen evaluar a escala de productor individual. Para evaluar el verdadero impacto sobre una región, dichos efectos deben observarse en un contexto más amplio. La mirada a escalas múltiples permite comprender el efecto relativo de las decisiones de manejo y el rol de cada predio en el equilibrio y sostenimiento de funciones que no son directamente apropiables. El análisis de la complejidad multiescalar permite destacar el bien común más allá de los beneficios privados. Por ello es de suma importancia que los SSP y otros sistemas agroforestales sean específicamente diseñados y manejados considerando las características, funciones y servicios ambientales del paisaje adonde se implementarán. La planificación y promoción de estos sistemas debería entonces, incorporar los efectos ambientales positivos y negativos que esta actividad pueda ocasionar tanto en los paisajes boscosos como en los agroecosistemas.

Agradecimientos

Artículo realizado para su disertación en el área temática sobre Implementación, Manejo y Producción en SSP del IV Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles. Los autores agradecen a Tomás Schlichter y a Santiago Varela por la lectura y aportes críticos al manuscrito, y el apoyo brindado por INTA, EEA Bariloche.



Bibliografía

- Allen, T. y T. Starr. 1982. Hierarchy. Perspectives for Ecological Complexity. The Univ of Chigago Press, pp. 310
- Archer, S.R., 2012. Tree-Graass Interactions: An Integration of Ecological and Management Perspectives. Actas del II Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles, Ediciones INTA: 203-210
- Benett, A.F., 1990. Habitat Corridors. Their Role in Wildlife Management and Conservation. Department of Conservation and Environment, Victoria. Arthur Rylah Institute for Environmental Research, pp.22
- Colcombet, L., Espíndola, F., Dutchen, N., Rossner, B. y N. Pachas, 2012. Resultados de un sistema silvopastoril con *Grevillea robusta* en el sur de Misiones (Silvopastoral system results under *Grevillea robusta* in southern Misiones). Actas del II Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles, Ediciones INTA: 147-152
- Corbella, R.D., Banegas, N., Caldez, L.B., Luchina, J., Plasencia, A.M., Martínez Calsina, L., Ceballos, R.B., y J.R. García, 2015. Influencia de las formas de carbono orgánico en las propiedades edáficas en un sistema silvopastoril de Tucumán, Argentina. Actas del III Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles, Ediciones INTA: 596-600
- Fernández, M.E., Gyenge J.E., Dalla Salda G., y T.M. Schlichter, 2002. Silvopastoral systems in northwestern Patagonia. I: growth and photosynthesis of *Stipa speciosa* under different levels of *Pinus ponderosa* cover. *Agroforestry Systems*, 55:27-35
- Fernández, M.E., Gyenge, J.E., y T.M. Schlichter, 2005. Desarrollo de Sistemas Silvopastoriles basados en Coníferas Exóticas. IDIA XXI, Forestales: 247-249
- Franklyn J.F., 1997. Ecosystem Management. An Overview. En: Boyce M.S. y A.W. Haney, editores: *Ecosystem Management: Applications for Sustainable Forest and Wildlife resources*. Yale University Press, Cap.2:21-53
- Galicia Sarmiento, L., y A. E. Zarco Arista, 2002. El concepto de escala y la teoría de las jerarquías en ecología. *Ciencias* 67, julio-septiembre: 34-40. <http://www.revistaciencias.unam.mx/pt/86-revistas/revista-ciencias-67/749-el-concepto-de-escala-y-la-teoria-de-las-jerarquias-en-ecologia.html#autor>
- González L.R., Bizon J.M.C., y J.C. Almeida, 2012. Viabilidad económica de sistemas agroforestales versus plantíos de eucalipto. Actas del II Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles, Ediciones INTA: 394-398
- Gordon, A.M., Newman, S.M. y P.A. Williams, 1997. Temperate Agroforestry: An Overview. En: Gordon A.M. y S.M. Newman editores; *Temperate Agroforestry Systems*. CAB International: 1-8
- Harris, L.D. y G. Silva-López, 1992. Forest Fragmentation and the Conservation of Biological Diversity. En: Fiedler P.L. y S.K. Jain, Editores. *Conservation Biology: The theory and practice of nature conservation and management*. Chapman and Hall, New York, 197-237
- Jose, S., 2012. Designing Sustainable Silvopastoral Systems: From Resource Availability to Management Interventions. Actas del II Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles, Ediciones INTA: 3-7
- Laclau P., 2002. Aspectos Socioeconómicos relativos a la Conservación de *Araucaria araucana* en el Sur de la Argentina (parte II). Proyecto Pehuén. Conservación, manejo y uso sustentable de los recursos genéticos de la *Araucaria araucana* en Argentina. INTA-APN- Pcia de Neuquén. Informe técnico, pp 10
- Laclau P., 2012. Consideraciones económicas y ambientales para la toma de decisiones en sistemas silvopastoriles. Actas del II Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles, Ediciones INTA: 359-370
- Laclau, P., y D. Domínguez Daguer (coords), 2014. Seminario Taller: Sistemas agroforestales. Cortinas y otras forestaciones lineales en el ambiente pampeano. Informe final. INTA-DPF/MAGyP. Buenos Aires, 5 de septiembre, 2014
- Laclau, P., Domínguez Daguer, D., y G. Caballé, 2015. Sombreado forestal aplicado a tambos. Simulaciones de cortinas forestales. Actas del III Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles, Ediciones INTA: 33-36
- Lugo A. E. y G.L. Morris, 1982. Los Sistemas Ecológicos y la Humanidad. Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos. Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico, Serie de Biología, Monografía n°23, ISBN 0-8270-1690-5, pp.82



IV Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles

"Una oportunidad para el desarrollo sustentable"

Villa la Angostura, Neuquén, Argentina, 31 de octubre al 2 de noviembre

- Montagnini, F., 2015. Captura de C en sistemas agroforestales y silvopastoriles (SSP). Actas del III Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles, Ediciones INTA: 576-579
- Morláns, M. C. y C. M. Romero, 2011. Estructura del Paisaje (Matriz, Parches, Bordes, Corredores) Sus Funciones. Colección Didáctica para Ecología del Paisaje. Editorial Científica Universitaria - Universidad Nacional de Catamarca, ISBN 1852-3013, pp.12
- Noriega-Altamirano, G., Cárcamo-Rico, B., Vergara-Sánchez, M.A., y F. Rodríguez-Neave, 2015. Agroforestería: una alternativa agroecológica para el manejo de la erosión eólica en la Cuenca del valle de México. Actas del III Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles, Ediciones INTA: 580-583
- Odum, E.P., 1971. Fundamental of Ecology. 3rd Edition, W.B. Saunders, Philadelphia, pp 574
- Pachas, A. N. A., Dehle, R., Esquivel, J.I., Fleitas, F., y L. Colcombet, 2012. Sistemas silvopastoriles intensivos en Misiones. Resumen. (Intensive silvopastoral systems at Misiones). Actas del II Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles, Ediciones INTA: 191
- Pantiu, A., Kurtz, V., Capellari, A. y O. Pochón, 2012. Interacción entre forrajeras y producción de carne en un sistema silvopastoril de Misiones (Interaction between forage and beef production in a silvopastoral system in Misiones). Actas del II Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles, Ediciones INTA: 227-231
- Perry, D.A.; Oren, R. y S.C. Hart, 2008. Forest Ecosystems, 2da. Edición The John Hopkins University Press, pp.606
- Radosevich, S.R. y K. Osteryoung, 1987. Principles Governing Plant-Environment Interactions. En: Waldstad, J.D. y P.J. Kuch, Editores. Forest Vegetation Management for Conifer Production. John Wiley & Sons Inc., Cap 5, pp.105-156.
- Tagliamonte, C., Martínez Ortiz, U., y S. Dal Pont, 2012. Análisis económico del potencial forrajero de frutos del bosque nativo del Chaco. Resumen. (Economic analysis of forage potential from native forest fruits in Chaco). Actas del II Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles, Ediciones INTA; 424
- Williams, P.A., Gordon, A.M., Garrett, H.E. y L. Buck, 1997. Agroforestry in North America and its Role in Farming Systems. Temperate Agroforestry: An Overview. En: Gordon A.M. y S.M. Newman editores; Temperate Agroforestry Systems. CAB International: 9-84.