

Oportunidades y desafíos para los sistemas silvopastoriles en Uruguay

Oportunities and challenges for the silvopastoral systems in Uruguay

Jean Kássio Fedrigo^{1*}, Valentina Benítez¹, Rodrigo Santa Cruz¹, Juan Pedro Posse², Raquel Santiago Barro³, Jorge Hernández⁴, Carlos Mantero⁴, Virginia Morales Olmos², Edison David Silveira⁴, Carolina Viñoles¹

¹ PDU Agroforestal, Casa de la Universidad de Cerro Largo, UdelaR, Ruta 26, km408, Bañados de Medina, Cerro Largo, Uruguay.

² Centro Universitario de Tacuarembó, UdelaR.

³ INIA, La Estanzuela.

⁴ Facultad de Agronomía, UdelaR.

*Autor para correspondencia (jean.fedrigo@poloagroforestal.edu.uy).

Veterinaria (Montevideo) Volumen 54
Nº 209 - 4 (2018) 20-30

DOI: 10.29155/VET.54.209.4

Recibido : 11/01/2018

Aceptado: 27/03/2018

Resumen

Los sistemas silvopastoriles constituyen una modalidad de sistemas agroforestales basada en la producción integrada entre árboles, plantas forrajeras y ruminantes. Cuando estos sistemas son bien planeados y conducidos, permiten explotar las sinergias entre los componentes, proporcionando ventajas económicas, para el bienestar animal y la prestación de servicios ambientales. La presencia de cubiertas arbóreas aumenta la humedad y posibilita una menor amplitud de variación térmica tanto del aire como del suelo, condiciones que mejoran el microclima para el crecimiento de plantas forrajeras y animales. La mayoría de los cultivos arbóreos establecidos en Uruguay son de alta densidad y destinados prioritariamente para la producción de pulpa o madera para aserrío, condiciones que restringen la cantidad y calidad de radiación fotosintéticamente activa disponible para el sotobosque. De esa manera, no ocurre una satisfactoria producción de forraje a lo largo de los años, aspecto que determina que la integración con la ganadería sea temporaria. El objetivo de esta revisión es presentar el conocimiento generado en los sistemas silvopastoriles que se han establecido en Uruguay, sus aspectos críticos, experiencias internacionales y las oportunidades y desafíos para la investigación y transferencia de tecnología en Uruguay. Destacamos la necesidad de creación de sistemas planeados en forma conjunta con los destinatarios de esta tecnología y otras instituciones de investigación, fomento y desarrollo, para evaluar los diferentes componentes y sus interacciones en el largo plazo, además de determinar su impacto productivo y económico, valorando adecuadamente los posibles servicios ambientales.

Palabras-clave: bienestar animal, servicios ecosistémicos, sinergias, rentabilidad, sistemas integrados.

Summary

Silvopastoral systems constitute a modality of agroforestry based on the integrated production between trees, forage plants and ruminants. When these systems are well planned and conducted, they allow to exploit the synergies between its components, providing economic benefits, better animal welfare and the provision of environmental services. The presence of tree covers increases humidity and allows a smaller thermal variation of both air and soil, conditions that improve the microclimate for the growth of forage plants and animals. Most of the tree crops established in Uruguay are constituted by high density plantations, destined for pulp or solid wood production, conditions that restrict the quantity and quality of photosynthetically active radiation available for the understory environment. Therefore, there is no satisfactory forage production over the years, which determines that the system integration with livestock be only temporary. The objective of this review is to present the knowledge generated in silvopastoral systems that have been established in Uruguay, its critical aspects, international experiences and the opportunities and challenges for research and technology transfer in our country. We highlight the need to create systems planned jointly with the recipients of this technology and other research and development institutions, in order to evaluate the different components and their interactions in the long term, as well as to determine their productive and economic impact at farm and region scale, and properly assessing the environmental impacts.

Key-words: animal welfare, ecosystem services, integrated systems, profitability, synergy.

Introducción

La forma de uso de la tierra es un aspecto central para el desarrollo agropecuario y tiene influencia directa en los beneficios económicos obtenidos por millones de personas. Además, su importancia trasciende la esfera económica y está intrínsecamente relacionada con desafíos globales como seguridad alimentaria, bienestar animal, adaptación al cambio climático y estrategias para mitigarlo y conservación de los recursos naturales (FAO, 2011). Por lo tanto, el sector agropecuario en los países en desarrollo está sometido a presiones contradictorias: aumentar la producción para contribuir al desarrollo del país y preservar el ambiente y el ecosistema. Los sistemas integrados de producción agropecuaria, como son los agroforestales, representan una alternativa que permite atender las demandas de sustentabilidad (FAO, 2010). Esto es debido a su eficiencia en el uso de los recursos naturales, proporcionando un mayor reciclaje de nutrientes, mejora en la calidad del suelo y capacidad de secuestro de carbono, además de su rol en la diversificación de los ingresos en la propiedad (Salton y col., 2014). El silvopastoreo es una modalidad de sistema agroforestal que combina la forestación con el pastoreo de los animales y se basa en el equilibrio de la explotación de los recursos naturales por parte de los tres componentes productivos del sistema: el árbol, la pastura y el rumiante (Peri y col., 2016).

Los sistemas silvopastoriles permiten captar e integrar al sistema una mayor cantidad de radiación solar, producto de su aprovechamiento por el estrato arbóreo y por la vegetación que crece en el sotobosque (componente forrajero) (Mobbs y col., 1998). Cuando estos sistemas son bien planeados y conducidos, permiten la ocurrencia de interacciones ecológicas beneficiosas, las cuales pueden ser demostradas a través del incremento en el rendimiento, eficiencia en el uso de recursos y mejoramiento en aspectos ambientales (Peri y col., 2016). De esa manera, es posible explotar la sinergia entre los componentes, integrando productos con escalas económicas temporalmente distintas en el mismo espacio.

El registro nacional más antiguo de uso de árboles en un sistema integrado a la ganadería data de 1960 (Torres y col., 1995). El pastoreo de ganado en montes de especies exóticas (eucalipto o pino) en Uruguay es común, y practicado en la mayoría de los campos forestados (Cubbage y col., 2012). Existe actualmente en Uruguay 1,6 millones de hectáreas de bosque; ocupando las plantaciones comerciales un 62% de esa área, donde pastorea alrededor del 5% del rodeo bovino nacional (MGAP 2015). Con respecto a los sistemas silvopastoriles diseñados de manera que permitan la introducción de forrajeras entre líneas de árboles, la información generada a nivel nacional es muy escasa y de difícil acceso.

Esta revisión bibliográfica busca identificar los puntos críticos que han inviabilizado la adopción de sistemas silvopastoriles en Uruguay. Se presenta la situación actual y la forma en que estos sistemas fueron establecidos desde la modificación de la

ley forestal (1987) hasta la fecha (2017). Además, por medio de literatura nacional e internacional, se destaca el conocimiento generado en los distintos componentes de modo de comprender sus interrelaciones y las consecuencias en otros componentes bióticos y abióticos del sistema. Finalizamos este trabajo presentando algunos temas prioritarios de investigación en sistemas silvopastoriles en Uruguay y las estrategias para fomentar su adopción.

Características de los sistemas silvopastoriles en Uruguay

Los sistemas silvopastoriles adoptados en Uruguay se caracterizan por plantaciones de alta densidad para producción de pulpa o madera para aserrío (1200 a 1600 árboles/ha¹) (Cubbage y col., 2012). Estas plantaciones limitan la producción de forraje, ya que su crecimiento regular ocurre solamente en el 30-40% de la tierra que permanece sin plantar (Cubbage y col., 2012). Las empresas forestales realizan contratos de pastoreo de sus plantaciones con productores locales, que manejan el ganado a una dotación de 0.4-0.5 UG ha¹ (Fedrigo y col., 2017). Esta relación beneficia a la empresa forestal, que percibe ingresos por renta y disminuye el riesgo de incendios y a los productores ganaderos que utilizan el forraje y producen carne en éstos sistemas (Cubbage y col., 2012).

Los sistemas silvopastoriles explícitamente planeados buscan maximizar las interacciones positivas (facilitación) y minimizar las negativas (competición), realizando una correcta selección de la especie arbórea y su marco de plantación, de las forrajeras que crecen en el sotobosque y de los animales (edad, categoría, momento de ingreso) (Jose y col., 2017). Sin embargo, la adopción de sistemas silvopastoriles explícitamente planeados, que promuevan la sinergia de sus componentes, es baja en Uruguay, a pesar de que ha sido promovida por el Programa Ganadero del MGAP (Tamosiunas, 2015). Se han identificado limitantes por falta de tecnología validada y la falta de predios piloto para difusión de resultados (Pastorini y Acosta, 2011). Los productores que tienen experiencia silvopastoril previa forestan por estar convencidos de los beneficios para el ganado, mientras que los que no lo hacen perciben a la forestación como un aumento de costos y horas de trabajo sin beneficios inmediatos (Tamosiunas, 2015). Para incrementar la adopción forestal es fundamental desarrollar planes de gestión integral junto con los productores, para que identifiquen los árboles como un rubro con potencial de generar ingresos para la unidad de producción (Tamosiunas, 2015). A pequeña escala, la actividad silvopastoril puede ser viabilizada por medio de la formación de grupos de productores en zonas específicas, aspecto que facilita los procesos de cosecha y de comercialización.

El componente arbóreo

En Uruguay, las plantaciones forestales se utilizan desde mediados del siglo XIX con el objetivo de proteger los cascos de las estancias y al ganado, proveyendo leña y madera para las construcciones rurales (Arrarte, 2000). En las últimas décadas la forestación ha tenido un gran desarrollo, producto de políticas

que buscaron impulsarla, lo cual generó fuertes inversiones en el sector (MGAP, 2015). Para ordenar este proceso fueron definidos suelos de prioridad forestal (Ravera, 2002), que hoy dividen al país en 3 regiones: sur-este, centro-norte y litoral-oeste. Actualmente, el género *Eucalyptus* es el más cultivado en Uruguay (82%), seguido por *Pinus* (18%). El *Eucalyptus* es frecuentemente elegido porque está bien adaptado a las condiciones de Uruguay, hay conocimiento y experiencia adquirida en su manejo, y cubre la demanda del mercado.

El desarrollo de la forestación en el país se ha asociado a la mecanización de las actividades y a la especialización en la preparación de la vegetación existente y del suelo. Para reducir costos y disminuir la erosión, la preparación del terreno se limita a la banda de plantación (Larocca y col., 2004), aspecto positivo para la manutención del campo natural. Se han desarrollado técnicas de laboreo cero previo a la plantación, no observándose diferencias respecto a las técnicas convencionales, en términos de crecimiento y producción del árbol (Delgado y col., 2006). Esto es importante para los suelos de aptitud forestal, que son más erodables que el promedio de los suelos del Uruguay.

Cuando se plantea un sistema silvopastoril, la decisión con mayor impacto es su objetivo productivo, que determina la especie arbórea elegida, densidad del plantío y arreglo espacial. Estas decisiones influyen en la cantidad y tipo de producto forestal, ya que la menor densidad arbórea favorece el crecimiento en diámetro de los árboles y la producción de madera sólida con destino aserrable (Varella y col., 2016). La selección de la especie arbórea en un sistema silvopastoril debe tener en cuenta su velocidad de crecimiento, arquitectura de la copa e interacciones con el resto de los componentes (por ejemplo: efectos alelopáticos). Una de las principales preocupaciones de los productores al implantar un sistema silvopastoril es el posible daño mecánico provocado por los animales a los árboles. En ese sentido, Varella y Saibro, (1999), estudiando distintas densidades de *Eucalyptus saligna* (204, 400 y 816 árboles ha⁻¹) verificaron que, independiente de la densidad, el daño fue severo solamente cuando las plantas tenían una altura inferior a 182 cm al inicio del pastoreo, lo que se evita realizando exclusión del área los primeros 18 meses.

Efectos de los árboles en las propiedades del suelo y fijación de carbono

La introducción de árboles al sistema provoca cambios en las propiedades químicas del suelo, cómo se presenta en la Figura 1. Trabajos nacionales realizados en plantaciones comerciales de *Eucalyptus sp.* de 10 años de edad, han constatado disminución del pH, aumento de la acidez intercambiable (Al³⁺) y disminución del contenido de bases Ca, Mg y K de los suelos debido al cambio de uso de la tierra de pastoril a forestal (Pérez-Bidegain y col., 2001). Otros trabajos describen que dichas alteraciones ocurren en distintas profundidades de muestreo (horizontes A y B) en plantaciones de *Pinus taeda* y principalmente con *Eucalyptus grandis* (Hernández, 2010). Los autores describen un descenso del pH en el horizonte A de 4,9 a 4,4 en *E. grandis* y de

4,8 a 4,5 en *P. taeda*; y en el horizonte Bt de 4,8 a 4,5 en *E. grandis* y de 4,7 a 4,5 en *P. taeda*. Estos cambios en la acidez, asociado a un mayor contenido de aluminio intercambiable, pueden tener un efecto negativo en las especies forrajeras que crecen en el sotobosque. Sin embargo, se desconoce cómo ocurrirían dichos cambios en sistemas silvopastoriles, donde la distancia entre plantas/filas varía respecto a las manejadas en plantaciones comerciales.

Uno de los mayores aportes de la forestación a los sistemas ganaderos es el aumento de la captación y almacenamiento de carbono en el suelo, que colabora en las estrategias para mitigar la producción de gases de efecto invernadero (Sharrow y Ismail, 2004) y mejora la estructura y composición química del suelo, lo que favorece la producción vegetal (Figura 1). La captación de C ocurre por el proceso de fotosíntesis realizado por las plantas, que convierten el CO₂ inorgánico en C orgánico, que posteriormente es depositado en el suelo debido a la descomposición de hojas muertas y raíces. Por otra parte, el C captado por los árboles puede quedar por un largo tiempo almacenado en muebles, casas, encofrados o juguetes (Alfaro, 1997).

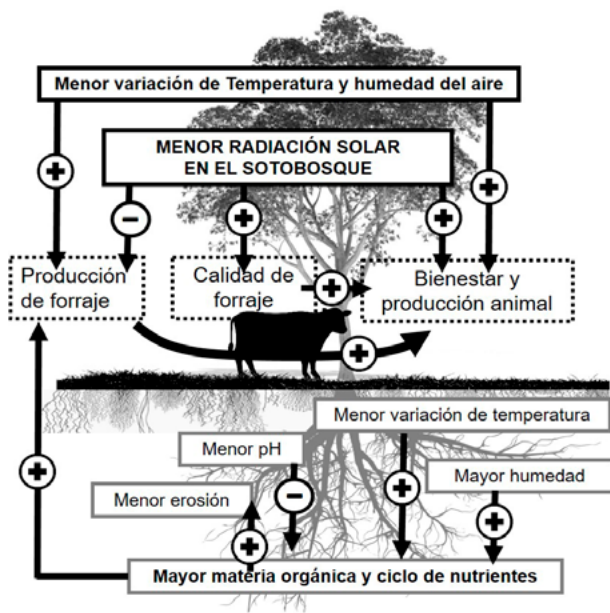


Figura 1. Esquema representando algunas interacciones entre los componentes del sistema silvopastoril. El color y tipo de línea que delimitan los cuadros tiene diferente significado: 1) negra y sólida: representa las modificaciones microclimáticas generadas por las cubiertas arbóreas en el sotobosque; 2) gris y sólida: representa las modificaciones generadas en los parámetros del suelo y 3) negra y punteada: representa el impacto en los atributos forrajeros y animales. Las flechas unen parámetros que se interrelacionan, y los signos determinan si el efecto es positivo (+) o negativo (-).

El reciclaje de nutrientes, efectuado por los árboles desde capas más profundas, ayuda a mantener adecuadas concentraciones de éstos en estratos superficiales del suelo, reduciendo las pérdidas por lixiviación (Hernández y col., 2009). La alta densidad y extensión de raíces de especies arbóreas resulta en el aumento del reciclaje de nutrientes y en la formación de materia orgánica en el suelo. Por otra parte, la presencia de un mantillo sobre la superficie del suelo (horizonte O del suelo bajo plantaciones forestales) contribuye al secuestro de carbono en un compartimento del sistema suelo-planta (Hernández y col., 2009). Inclusive trabajos realizados en el país reportan un aumento de carbono en la primera porción del horizonte Bt del perfil de suelo (Hernández y col. 2016).

En estos sistemas integrados, las alteraciones en el suelo no son provocadas exclusivamente por los árboles. La presencia del animal, por ejemplo, constituye un agente catalizador al introducir variabilidad y nuevas vías de flujos de nutrientes y agua, siendo el suelo el compartimento mediador de los procesos (Anghinoni y col., 2013). Por medio de la producción de heces y orina, el animal aumenta la actividad biológica del suelo y el reciclaje de nutrientes (Dubeux y col., 2007). El pastoreo controlado estimula el crecimiento del pasto, y de esa forma estimula la absorción de nutrientes por las plantas.

Efecto de la cobertura arbórea sobre el microclima

Muchos trabajos han constatado que la presencia de cobertura arbórea genera cambios en la radiación solar, el ciclo hidrológico, temperatura, humedad y viento, los que serán descriptos a continuación.

Radiación solar

La intercepción de la radiación solar por los árboles provee confort térmico a los animales, pero compromete la actividad fotosintética de las plantas forrajeras (Figura 1). La radiación solar de mayor calidad, constituida por longitudes de onda de alta efectividad fotosintética (fracciones rojo y azul), es absorbida mayormente por el componente arbóreo, y los espectros luminosos de calidad inferior son los que llegan al estrato herbáceo (Feldhake y Belesky, 2009). Las plantas que crecen en condiciones de sombra se someten a una mayor proporción de luz con menor relación rojo/rojo lejano, un hecho que desencadena varios procesos metabólicos relacionados con la adaptación de la planta a la calidad de luz disponible. Algunas de esas respuestas adaptativas se describirán en el ítem 5.

La radiación que llega al sotobosque presenta modificación diaria y estacional, siendo afectada por la latitud, exposición del terreno, especie (arquitectura y velocidad de crecimiento) y densidad forestal, nubosidad, edad y altura de los árboles. El manejo de la luminosidad es considerado el principal factor responsable de la producción equilibrada y complementaria de los componentes de los sistemas silvopastoriles, ya que determina el ritmo de crecimiento de la pastura y, consecuentemente, la producción animal (Figura 1). Por tratarse de un proceso dinámico, la lu-

minosidad puede ser modificada utilizando distintos marcos de plantación y realización de podas y raleos (Sotomayor y Teuber, 2011). Actualmente existen modelos de simulación de los patrones de sombreado en plantaciones forestales, que muestran la cantidad de horas de sombra acumulada en cada punto del potrero (Quesada y col., 2010). Las simulaciones consideran éstos cambios temporales y espaciales y se ajustan a distintas especies arbóreas, pudiendo ser utilizadas como herramientas para la planificación y manejo de la plantación.

Según lo observado por Ribaski y col., (2005), a los 5 años la radiación disponible entre las filas de plantaciones comerciales (3 x 3 metros) de *Eucalyptus sp.* y *Pinus elliotti* es, respectivamente, de 10% y 60% en relación a pleno sol. Partiendo del supuesto de que la transmisión de luz es cada vez menor con el avance de la edad de los árboles, solamente con la utilización de densidades menores es posible lograr el adecuado aporte lumínico al sotobosque. De acuerdo a experiencias regionales, el arreglo más efectivo para la entrada de luz es por medio de callejones, donde los árboles se plantan en filas (simples o triples) con un amplio espacio entre ellas (14 a 28 metros) (Varella y col., 2016). Este arreglo básico también se puede ajustar de acuerdo con el uso comercial de la madera. Sin embargo, todavía es necesario generar información acerca del coeficiente de extinción de la luz en sistemas silvopastoriles para especies de interés productivo para Uruguay.

Ciclo hidrológico

El impacto de la introducción de árboles sobre el ciclo hidrológico del ecosistema es un tema polémico, especialmente cuando la plantación sustituye al campo natural. La magnitud de los cambios varía con las características climáticas locales, siendo mayor en plantaciones comerciales de alta densidad (Aussenac y Boulangeat, 1980). Las plantaciones forestales aumentan la intercepción del agua de lluvia, por lo que ayudan a disminuir los procesos erosivos y tienden a tener más pérdidas por evapotranspiración que una pastura bajo pastoreo (von Stackelberg y col., 2007). En Uruguay, se observó que los escurrimientos anuales en una cuenca forestada disminuye entre un 22 y 31 %, dependiendo de la precipitación anual (Silveira y col., 2006). Las plantaciones reducen la velocidad de escorrentía en eventos climáticos extremos y consecuentemente la erosión (von Stackelberg y col., 2007).

Los árboles pueden además modificar la dinámica del agua en el suelo, con tendencia a la disminución de su disponibilidad subterránea (Munka, 2010). Una síntesis de 26 estudios realizados en distintas cuencas hidrográficas alrededor del mundo, indica una reducción del 39% en el volumen de agua disponible (un promedio de 167 mm/año), siendo mayor el efecto con *Eucalyptus* que con *Pinus* (Farley y col., 2005). Estudios en Uruguay han encontrado una mayor hidrofobicidad bajo plantaciones forestales, debido a la mayor presencia de compuestos orgánicos bajo vegetación de *Eucalyptus* y *Pinus* que bajo pasturas nativas (Rodríguez, 2008). Dicho comportamiento podría afectar la infiltración y la retención del agua en el suelo.

Los sistemas agroforestales pueden reducir la contaminación del agua de suelo por nitratos y otras sustancias perjudiciales para el ambiente y la salud humana. Como resultado del menor escurrimiento y por la filtración de las micro cuencas hidrográficas con cubierta forestal, se produce agua de mejor calidad (Stad-muller, 1994).

Temperatura, humedad y viento

Las cubiertas vegetales generan una menor amplitud de variación térmica en el aire y suelo. En Uruguay, se ha reportado que en los meses de mayor temperatura (diciembre-febrero), el monte de *Pinus taeda* de 8 años de edad reduce la temperatura del aire en 2,6-2,8°C entre las 10 y 20 hs, mientras que en el invierno, las temperaturas nocturnas son más elevadas (+1°C); (Fedri-go y col., 2017). La magnitud de los cambios en temperatura dependen de la densidad del monte, siendo mayores en montes más densos (3,5°C, 1189 plantas ha⁻¹) comparado con montes de menor densidad (1,5°C, 642 plantas ha⁻¹) (Cabrera y col., 2016).

La temperatura media del suelo varía según el arreglo, densidad y altura de los árboles. Se han registrado reducciones de 3,8°C en verano en árboles con una altura promedio de 6-8 metros y de 2,1°C en árboles menores a 6 metros (Bahamonde y col., 2009). Estos cambios son positivos para el crecimiento de las especies forrajeras, especialmente las invernales. Debido a los valores extremos de temperatura del suelo registrados en los meses más calientes, su efecto negativo resulta más relevante que la temperatura del aire. Altas temperaturas del suelo inhiben la fotosíntesis y la síntesis de citocinina (Wang y col., 2003), hormona responsable de la producción de nuevas hojas y macollos y del retraso en la senescencia.

La humedad relativa del aire es mayor en áreas con cobertura de bosque, aunque la magnitud del cambio depende de su altura (hasta 6 metros: 3 % y 6-8 metros, 20%) (Bahamonde y col., 2009). El aumento en la humedad del aire por evaporación de las hojas es parte del mecanismo por el cual los árboles producen una reducción en la temperatura, cambios importantes para asegurar el confort térmico en los animales (Grantz, 1990). Con relación a la humedad disponible en el suelo, se ha verificado que puede ocurrir competencia entre las raíces de los árboles y las pasturas siempre que el suelo no esté completamente saturado en agua (Peri y col., 2016).

Las cubiertas forestales son también efectivas en modificar la velocidad del viento, disminuyéndolo hasta 46% en densidades altas del rodal en los primeros metros del nivel del suelo (Pezzo-pane y col., 2015). La zona de protección de cortinas de árboles puede cubrir una distancia hasta de 30 veces la altura del bosque (Gutiérrez y col., 1996). La menor velocidad del viento permite una disminución de hasta 20% de la tasa de evapotranspiración, aspecto que permite mitigar los efectos del estrés por sequía (Gutiérrez y col., 1996).

Respuestas de las plantas forrajeras al microclima

La generación de un microclima diferente bajo los árboles tiene impacto sobre el crecimiento de las plantas forrajeras que crecen en el sotobosque. Esta condición ayuda a controlar los extremos térmicos del aire y del suelo, pero reduce la cantidad y calidad de radiación fotosintéticamente activa, constituyendo la principal característica ambiental negativa para el crecimiento forrajero en sistemas silvopastoriles (Feldhake y Belesky, 2009). El tiempo térmico necesario para el surgimiento de dos hojas consecutivas (filocrono) es mayor para plantas sombreadas (Bald-issera y col., 2014), característica que junto con la menor tasa de macollaje (resultante de la menor proporción de luz rojo/rojo lejano) influye negativamente en la eficiencia del crecimiento.

Dentro de las especies con distintas rutas metabólicas, las C3 tienen destacada capacidad de aclimatación a sombra moderada. Las tasas fotosintéticas realizadas por ese grupo de plantas se mantienen relativamente estables con reducción de 50% de radiación solar (Sharrow, 1999). Estudios realizados con niveles crecientes de sombreado sugieren que especies exóticas (*Dactylis glomerata*, *Lolium perenne* y *Festuca arundinacea*) y nativas (*Bromus sp.*) presentan buena productividad y persistencia en sistemas silvopastoriles (Varella y col., 2012).

En el sur de Brasil, se describió que las especies cultivadas anuales: raigrás (*Lolium multiflorum*) y avena blanca (*Avena sativa*) y negra (*A. strigosa*) son tolerantes a la sombra (Kirchner y col., 2010). Un trabajo nacional realizado en un monte de 33 años de edad (densidad de 136 árboles ha⁻¹) constató una reducción en el número de macollos y en la producción de forraje de 50% a 60% en tres gramíneas C3 perennes exóticas (*Dactylis glomerata*, *Lolium perenne* y *Festuca arundinacea*) asociadas con leguminosas (*Lotus corniculatus* + *Trifolium repens*) (Silveira y col., 2017).

Las especies de ruta metabólica C4 presentan mayores tasas fotosintéticas debido a la presencia de un complejo sistema de especialización (anatomía Kranz) que mejora la asimilación de carbono en situaciones de alta radiación y temperatura. Dicha característica, que tiene alto costo energético de mantenimiento (Furbank y col., 1990), resulta en una menor plasticidad fenotípica para adaptarse a ambientes con restricción de luminosidad (Sage y McKown, 2006). Sin embargo, algunas especies de gramíneas estivales presentan buena producción de biomasa con niveles de 40 a 60% de luz solar, siendo igual o superior a la producción bajo luz solar plena (Barro y col., 2012). En Misiones, Argentina, se verificó una mayor producción de biomasa de *Axonopus jesuiticus* en el sotobosque, con incrementos de hasta 70% de productividad bajo 50% de sombra (Lacorte y Esquivel, 2009). Otras especies nativas C4 como *P. notatum* y *P. dilatatum* demostraron tener buena tolerancia a la sombra moderada y *Paspalum regnelli* a niveles intensos de sombreado (de hasta 80%) (Barro y col., 2012).

La pastura que crece en condiciones de baja calidad y cantidad de luz registra un aumento en la concentración de proteína y una reducción en su contenido de fibra (Fedri-go y col., 2017), aspec-

tos positivos para la producción animal si el volumen de forraje es adecuado. El aumento en la concentración de proteína se debe a la estrategia de las plantas en direccionar el nitrógeno de raíces y tallos hacia las láminas foliares para aumentar su eficiencia fotosintética (Cruz, 1997). El aumento de N bajo sombra es también atribuido a la mayor mineralización de la materia orgánica del suelo, debido a las condiciones térmicas e hídricas del suelo, que favorecen la acción de microorganismos nitrificadores. La menor producción de biomasa que ocurre por el estrés lumínico, resulta en una mayor concentración de N en la planta (Wilson y col., 1990).

El campo natural integrado al componente arbóreo presenta modificaciones estructurales, taxonómicas y químicas. El incremento del nivel de sombreado se asocia a una disminución de la relación C4:C3 y del número de familias, géneros y especies botánicas (Silveira, 2015). Estas modificaciones también determinan cambios productivos. Bajo una plantación comercial de *Pinus taeda* de 7 años de edad (1000 árboles ha⁻¹), el crecimiento diario anual del campo natural (3 kg de MS ha⁻¹ d⁻¹) fue 83% inferior al verificado en una área sin árboles (18 kg de MS ha⁻¹ d⁻¹) (Nicola y Silveira, 2010). El limitado crecimiento impactó directamente en la capacidad de carga animal, que fue 0,14 UG ha⁻¹ promedio anual (unidad ganadera (UG)= vaca de 380 kg con su ternero al pie), con tendencia a una disminución cada vez mayor con la edad del monte. Estudios realizados en la región de la Patagonia Argentina sugieren que es necesario mantener una cobertura arbórea igual o inferior al 50% del área (Caballé y col., 2016), para permitir el adecuado desarrollo de las especies que componen el campo natural. En forma opuesta a lo que ocurre en el campo natural de Uruguay, en la Patagonia Argentina existe predominancia de especies C3, por lo que es necesario generar coeficientes técnicos para las condiciones locales.

Respuestas fisiológicas de los rumiantes al estrés calórico

El ambiente climático es un factor que afecta el bienestar animal y la eficiencia de producción de carne y leche, aspecto relevante considerando las predicciones de aumento en la temperatura global (Renaudeau y col., 2012).

La termorregulación es el balance entre los mecanismos de producción y pérdida de calor. Frente a situaciones de estrés térmico, el animal pone a funcionar mecanismos fisiológicos y comportamentales para mantener su temperatura corporal (Renaudeau y col., 2012). La disminución de la ingesta permite reducir la generación de calor metabólico (Rhoads y col., 2009), pero tiene consecuencias negativas directas e indirectas en la producción y la reproducción. El estrés calórico prolongado disminuye las concentraciones de la hormona de crecimiento, lo que reduce la tasa de crecimiento y consecuentemente la calidad de la carne (Savsani y col., 2015). El impacto negativo del estrés calórico sobre la eficiencia reproductiva de las hembras, está asociado a alteraciones en el crecimiento de los folículos ováricos, la calidad del ovocito y el desarrollo embrionario temprano (Ronchi y col., 2001). Estas alteraciones se explican por la reducción en las concentraciones de las hormonas luteinizante y esteroideas (es-

tradiol y progesterona), que juegan un rol importante en el mecanismo de reconocimiento materno de la preñez. La selección de animales para maximizar el nivel de producción aumenta su sensibilidad al estrés calórico (incremento en la generación de calor metabólico) al que se suma el estrés oxidativo, lo que empeora el funcionamiento de tejidos y órganos (Sordillo y Aitken, 2009). El ganado *Bos indicus* es más resistente al calor que el *Bos taurus*, por su menor tasa metabólica, mayor capacidad de eliminar calor y la presencia de genes que le confieren tolerancia al calor (Hansen, 2004). En sistemas que utilizan razas *Bos taurus* y sus cruza, es importante aplicar medidas de mitigación para lograr un adecuado bienestar animal. Las pérdidas productivas provocadas por el estrés calórico son relevantes para el área tropical y también para el área templada (Renaudeau y col., 2012). En Uruguay, especialmente en los sistemas extensivos de producción de carne, la problemática del estrés calórico se encuentra subestimada (Rovira, 2014). La modificación del microclima, producto de la introducción de árboles, podría ser una estrategia para mitigar el estrés calórico en los rumiantes.

Variables climáticas de importancia para el animal

Las variables climáticas que determinan la ocurrencia de un episodio de estrés calórico son la temperatura (determina la severidad del evento (Shrode y col., 1960)) y la humedad relativa (Figura 1). Ambas se relacionan en el Índice de Temperatura y Humedad (ITH) (Thom, 1959), considerándose valores de 72 a 75 como el umbral crítico donde la producción animal comienza a afectarse. Sin embargo, el ITH tiene limitaciones para una caracterización completa del ambiente térmico. Además de la temperatura y humedad relativa, deben considerarse la radiación solar y la velocidad del viento. El globo negro es un instrumento que combina los efectos de la radiación con la temperatura del aire y la velocidad del viento (Bond y Kelly, 1955). Los valores térmicos registrados por globos negros expuestos al sol fueron superiores en un rango de 6 a 9°C respecto a los que permanecieron bajo los montes, siendo la magnitud de la diferencia dependiente de la densidad de los mismos (626 vs 1189 árboles. ha⁻¹, respectivamente) (Munka y col., 2017).

Efecto del microclima en la conducta y performance animal

El efecto negativo del estrés calórico se puede mitigar mediante la disminución de la radiación solar o de la temperatura del aire. Se ha reportado una disminución de la temperatura corporal en ganado para carne y leche con acceso a sombra (Kendall y col., 2006). Las sombras artificiales protegen a los animales de la radiación solar, pero no alteran la temperatura del aire o la humedad relativa que podrían estimular las rutas de pérdida de calor (West, 2003). Los árboles son más efectivos que la sombra artificial ya que brindan protección de la radiación solar combinado con el enfriamiento del aire (Saravia y Cruz, 2003).

Una mejora en el confort térmico, les permite a los animales destinar un mayor porcentaje del tiempo al pastoreo y rumia (Geremia, 2016). Las vacas sin acceso a sombra pastorean menos durante los horarios diurnos de mayor temperatura en los

meses más cálidos del año y tienen comidas más cortas (Kendall y col., 2006). Animales sin sombra pastorean más de noche, lo que determina que continúen produciendo calor y no puedan bajar la temperatura corporal (Kendall y col., 2006), haciendo ineficientes los mecanismos de termorregulación. Además, pasan más tiempo de pie, probablemente para incrementar las pérdidas por evaporación, así como alrededor de los bebederos (Muller y col., 1994). Los estudios de conducta animal en sistemas con árboles son escasos, y requieren de ajustes metodológicos para evaluar sin interferencias, el uso del espacio que realizan los animales en las áreas forestadas (pastoreo bajo el monte, pastoreo en zonas con sombra fuera y debajo del monte).

El efecto positivo de la sombra en la performance animal ha sido demostrado en varios trabajos nacionales y en distintas categorías. En vaquillonas aumenta la tasa de ganancia de peso diario de 100 a 200 g durante el verano (Fedrigo y col., 2017; Simeone y col., 2010). La tasa de ganancia de peso de novillos que fueron trasladados a un área con sombra y agua durante las horas de mayor radiación solar fue 14% superior a los que permanecieron en la pastura sin sombra (Beretta y col., 2013).

Se han reportado reducciones del orden del 20% en la tasa de preñez cuando el ITH es mayor a 70 (Mellado y col., 2013), aspecto que puede ser mejorado por la presencia de sombreado. En ganado para carne en sistemas pastoriles, un ITH de 73 sería el umbral a partir del cual comienza a afectarse la tasa de concepción (Amundson y col., 2006). A pesar de que el entore del ganado para carne en Uruguay ocurre en los meses de mayores temperaturas y probabilidad de olas de calor, no se ha investigado el impacto de la sombra natural sobre la fertilidad del rodeo.

Otro aspecto relevante que afecta la performance animal, pero escapa al objetivo de ésta revisión, es el impacto del microclima en el ciclo de los parásitos gastrointestinales, ectoparásitos y agentes de diferentes enfermedades infecto-contagiosas.

Prioridades de investigación en sistemas silvopastoriles en Uruguay

La información científica que se ha generado en Uruguay, proviene de sistemas silvopastoriles que no fueron explícitamente planeados para explotar la sinergia de sus componentes. Por lo tanto, la información existente en la actualidad es insuficiente, tanto en el diseño, especies de árboles utilizadas, arreglos espacio-temporales y estrategias de manejo del sistema. El tiempo que requieren las rotaciones forestales imposibilita el estudio de muchas combinaciones de especies y arreglos espacio-temporales. Por este motivo, creemos que la investigación se debe centrar en sistemas silvopastoriles con las principales especies cultivadas en la región, como los géneros *Eucalyptus* y *Pinus* en distintos arreglos espaciales.

Los cambios que ocurren en las propiedades del suelo, uso del agua y microclima, se han estudiado en plantaciones de alta densidad, por lo que es necesario determinar si el efecto es igual en plantaciones con menores densidades. Las estrategias de plan-

tación utilizando laboreo cero, menos agresivas para el campo natural, probablemente tengan repercusiones de largo plazo en los diferentes componentes del sistema.

Uno de los cambios más dramáticos en las plantaciones forestales es la intercepción de luz y su efecto negativo sobre las especies forrajeras que crecen en el sotobosque. A pesar de que la ciencia ha avanzado en la selección de especies más adaptadas al sombreado, todavía no están claras las combinaciones de grupos funcionales que permitan explotar sus sinergismos en sistemas silvopastoriles. La mayoría de los cambios en las características del suelo y microclima son favorables a las especies forrajeras, particularmente en estaciones cálidas, siempre que estén asociados a un manejo adecuado de la luminosidad.

El estrés calórico tiene impacto negativo sobre el desempeño de hembras en la etapa de recría, y en la preñez de las vacas. Sin embargo no se ha generado información respecto a la utilidad de los sistemas silvopastoriles en la eficiencia reproductiva del rodeo de cría, y su combinación con otras estrategias (por ejemplo, uso de antioxidantes) que permitan mitigar los efectos del estrés calórico.

Algunos grupos de investigación han tratado de estudiar los diferentes componentes de un mismo sistema silvopastoril de alta densidad a nivel Nacional, pero los coeficientes técnicos nunca fueron integrados para determinar las interacciones positivas y negativas de los mismos (von Stackelberg y col., 2007; Fedrigo y col., 2017). Una visión integradora de estos coeficientes permitiría mejorar el uso de los recursos naturales, la sustentabilidad y el ingreso económico de los sistemas silvopastoriles existentes.

Estrategia de trabajo para fomentar la adopción de Sistemas silvopastoriles

En trabajos anteriores se ha destacado que la incorporación efectiva de la forestación en los predios ganaderos depende de la convicción de los productores, del estímulo financiero y de que efectivamente genere un nuevo ingreso al predio (Pastorini y Acosta, 2011). Una de las mayores dificultades para la adopción de estos sistemas es que el productor ganadero no tiene conocimiento forestal, y no existen pequeñas empresas o técnicos que puedan brindar éste servicio en las nuevas zonas forestales del país, por lo que la capacitación en éste tipo de sistemas sería relevante para permitir su adopción. La opinión de informantes calificados sugiere que la integración ganadería-forestación debe impulsarse desde el Estado, por la necesidad de levantar restricciones de información, culturales y de investigación (Pastorini y Acosta, 2011). Dentro de los apoyos, consideraron los financieros, de la investigación creando predios demostrativos, de difusión, asistencia técnica y capacitación, formación de grupos y trabajo vía instituciones locales para impulsar la integración ganadería-forestación.

Conclusiones

La mayoría de los sistemas silvopastoriles que existen en Uruguay, y en los cuales se ha generado información científica, no fueron diseñados específicamente para explotar la sinergia entre sus componentes. En su conjunto, los cambios producidos por los árboles en las propiedades del suelo, uso del agua, y microclima son dependientes de la densidad con que se plantan los árboles, y el efecto más dramático, la intercepción de luz, reduce la persistencia y producción del campo natural. La baja especialización de estos sistemas determina que los coeficientes técnicos generados no solamente sean bajos, sino que empeoren con el paso del tiempo. Por lo tanto, es necesaria la creación de sistemas silvopastoriles planeados en forma conjunta con los destinatarios de esta tecnología y otras instituciones de investigación, fomento y desarrollo, para evaluar los diferentes componentes y sus interacciones en el largo plazo, además de determinar su impacto productivo y económico.

Referencias

1. Alfaro M. (1997). Almacenamiento y fijación de carbono en ecosistemas forestales. *Rev For Centroam* 19:9-12.
2. Amundson JL, Mader TL, Rasby RJ, Hu QS. (2006). Environmental effects on pregnancy rate in beef cattle. *J Anim Sci* 84:3415-3420.
3. Anghinoni I, Carvalho PCDF, Valadão SE, Costa GA. (2013). Abordagem sistêmica do solo em Sistemas Integrados de Produção Agrícola e Pecuária no subtropico brasileiro. *Tópicos em Ciência do Solo* 8:325-380.
4. Arrarte CP. (2000). Impacto de las plantaciones forestales en Uruguay. *Biodiversidad* 15:25-26.
5. Aussenac G, Boulangeat C. (1980). Interception des précipitations et évapotranspiration réelle dans des peuplements de feuillus (*Fagus silvatica*) et de résineux (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb) Franco). *Ann des Sci For INRA/EDP Sci* 37:91-107.
6. Bahamonde H, Peri PL, Martínez Pastur G, Lencinas MV. (2009). Variaciones microclimáticas en bosques primarios y bajo uso silvopastoril de *Nothofagus antarctica* en dos Clases de Sitio en Patagonia Sur. Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles. 1º. Posadas, Argentina pp.1-7.
7. Baldissera TC, Pontes LDAS, Barro RS, Giostri AF. (2014). Phyllochron and leaf lifespan of four C4 forage grasses cultivated in association with trees. *Trop Grasslands* 2:12-15.
8. Barro RS, Varella AC, Lemaire G, de Medeiros RB, de Saibro JC, Nabinger C, Bangel FV, Carassai IJ. (2012). Forage yield and nitrogen nutrition dynamics of warm-season native forage genotypes under two shading levels and in full sunlight. *Rev Bras Zootec* 41:1589-1597.
9. Beretta V, Simeone A, Bentancur O. (2013). Manejo de la sombra asociado a la restricción del pastoreo: efecto sobre el comportamiento y performance estival de vacunos. *Agrociencia* 17:131-140.
10. Bond TE, Kelly CF. (1955). The globe thermometer in agricultural research. *Agric Eng* 36:251-260.
11. Caballé G, Fernández M, Gyenge J, Lantschner V, Letourneau F, Borrelli L. (2016). Silvopastoral Systems Based on Natural Grassland and Ponderosa Pine in Northwestern Patagonia, Argentina. En: Peri P, Dube F, Varella A. *Silvopastoral Systems in Southern South America*. New York. Springer pp.89-115.
12. Cabrera G, Rachetti M, Condon R, Olivera B, Artigalás A, Martínez J, Inzaurre S, Garrone I, Sánchez A, Bentancor L, Bussoni A, Munka C, Boscana M, Álvarez J, Fernández E. (2016). La integración de forestaciones en predios familiares: resultados de un estudio participativo. Montevideo, Impresos Dib 46 p.
13. Cruz P. (1997). Effect of shade on the carbon and nitrogen allocation in a perennial tropical grass, *Dichanthium aristatum*. *J Exp Bot* 48:15-24.
14. Cubbage F, Balmelli G, Bussoni A, Noellemeyer E, Pachas AN, Fassola H, Colcombet L, Rossner B, Frey G, Dube F, de Silva ML, Stevenson H, Hamilton J, Hubbard W. (2012). Comparing silvopastoral systems and prospects in eight regions of the world. *Agrofor Syst* 86:303-314.
15. Delgado S, Alliaume F, García Préchac F, Hernández J. (2006). Efecto de las plantaciones de *Eucalyptus* sp. sobre el recurso suelo en Uruguay. *Agrociencia* 10:95-108.
16. Dubeux JCB, Sollenberger LE, Mathews BW, Scholberg JM, Santos HQ. (2007). Nutrient cycling in warm-climate grasslands. *Crop Sci* 47:915-928.
17. FAO. (2010). An international consultation on integrated crop-livestock systems for development. *The Way Forward for Sustainable Production*. Rome, FAO 79p.
18. FAO. (2011). *The State of the World's land and water resources for Food and Agriculture. Managing systems at risk*. London, FAO 308p.
19. Farley KA, Jobbágy EG, Jackson RB. (2005). Effects of afforestation on water yield: A global synthesis with implications for policy. *Glob Chang Biol* 11:1565-1576.
20. Fedrigo J, Santa Cruz R, Benitez V, Courdin V, Ferreira G, Posse J, Viñoles C. (2017). Forraje, temperatura y producción animal en un sistema silvopastoril en Uruguay. Congreso Internacional Sistemas Silvopastoriles. 9º. Maniza-

- les, Colombia, pp. 130-135.
21. Feldhake CM, Belesky DP. (2009). Photosynthetically active radiation use efficiency of *Dactylis glomerata* and *Schedonorus phoenix* along a hardwood tree-induced light gradient. *Agrofor Syst* 75:189-196.
 22. Furbank RT, Jenkins CLD, Hatch M. (1990). C4 photosynthesis: quantum requirement, C4 acid overcycling and Q-cycle involvement. *Aust J Plant Physiol* 17:1-7.
 23. Geremia EV. (2016). Estrutura do dossel forrageiro e comportamento ingestivo de novilhas em *Brachiaria brizantha* cv. Piatã sob regimes de sombra em área de integração lavoura-pecuária-floresta. Tesis de Doctorado en Zootecnia, Universidade de São Paulo, Piracicaba, Brasil.
 24. Grantz DA. (1990). Plant response to atmospheric humidity. *Plant, Cell Environ* 13:667-679.
 25. Gutiérrez B, Acevedo F, Gustamante C, Navas A, Plaza J. (1996). Plan de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Sistemas Agroforestales. Seminario Internacional sobre Sistemas Agropecuarios Sostenibles. 6°. Cali, Colombia. p. s.p.
 26. Hansen PJ. (2004). Physiological and cellular adaptations of zebu cattle to thermal stress. *Anim Reprod Sci* 82-83:349-360.
 27. Hernández J. (2010). Evolución de parámetros químicos de suelos bajo forestación: acidez, bases, materia orgánica. Jornadas de Actualización Técnica 10 Años de Investigación en Producción Forestal. 1°. Montevideo, Uruguay p. 16-19.
 28. Hernández J, del Pino A, Salvo L, Arrarte G. (2009). Nutrient export and harvest residue decomposition patterns of a *Eucalyptus dunnii* Maiden plantation in temperate climate of Uruguay. *For Ecol Manage* 258:92-99.
 29. Hernández J, del Pino A, Vance ED, Califra Á, Del Giorgio F, Martínez L, González-Barríos P. (2016). *Eucalyptus* and *Pinus* stand density effects on soil carbon sequestration. *For Ecol Manage* 368:28-38.
 30. Jose S, Walter D, Mohan Kumar B. (2017). Ecological considerations in sustainable silvopasture design and management. *Agrofor Syst* 1-15.
 31. Kendall PE, Nielsen PP, Webster JR, Verkerk GA, Littlejohn RP, Matthews LR. (2006). The effects of providing shade to lactating dairy cows in a temperate climate. *Livest Sci* 103:148-157.
 32. Kirchner R, Soares AB, Sartor LR, Adami PF, Migliorini F, Fonseca L. (2010). Desempenho de forrageiras híbridais sob distintos níveis de luminosidade. *Rev Bras Zootec* 39:2371-2379.
 33. Lacorte SM, Esquivel JI. (2009). Sistemas silvopastoriles en la Mesopotamia Argentina. Reseña del conocimiento, desarrollo y grado de adopción. Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles. 1°. Posadas, Argentina pp.1-5.
 34. Larocca F, Dalla TF, Aparicio JL. (2004). Técnicas de implantación y manejo de *Eucalyptus grandis* para pequeños y medianos forestadores en Entre Ríos y Corrientes. Jornadas Forestales de Entre Ríos. 19°. Concordia, Argentina pp. 1-6
 35. Mellado M, Sepulveda E, Meza-Herrera C, Veliz F, Arevalo J, Mellado J, De Santiago A. (2013). Effects of heat stress on reproductive efficiency of high yielding Holstein cows in a hot-arid environment. *Rev Colomb Ciencias Pecu* 26:193-200.
 36. MGAP. (2015). Análisis sectorial y cadenas productivas. Temas de políticas. Estudios. 1.ª ed. Montevideo, Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca 511 P.
 37. Mobbs DC, Cannell MGR, Crout NMJ, Lawson GJ, Friend AD, Arah J. (1998). Complementarity of light and water use in tropical agroforests I. Theoretical model outline, performance and sensitivity. *For Ecol Manage* 102:259-274.
 38. Muller CJC, Botha JA, Smith WA. (1994). Effect of shade on various parameters of Friesian cows in Mediterranean climate in South Africa. 3. Behaviour. *S Afr J Anim Sci* 24:61-66.
 39. Munka C. (2010). Variación del índice de área foliar y de la evapotranspiración en *Pinus taeda* debido al manejo silvicultural. Tesis de maestría en Ciencias Agrarias. Universidad de la República, Montevideo, Uruguay.
 40. Munka C, Bussoni A, Boscana M, Alvarez J, Rachetti M, Cabrera G, Fernandez E. (2017). Forestación en predios ganaderos del sur del Uruguay: evaluación del ambiente térmico. Congreso Internacional Sistemas Silvopastoriles. 9°. Manizales, Colombia, pp. 147-166.
 41. Nicola G, Silveira F. (2010). Cambios en la composición botánica, crecimiento y calidad en las pasturas de campo natural una vez establecido un monte de pinos. Instituto de Gestión Agropecuaria. Universidad Católica del Uruguay, Montevideo, Uruguay.
 42. Pastorini V, Acosta P. (2011). Aportes del Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca para la integración de la forestación en predios ganaderos. En: MGAP-OPYPA, Anuario OPYPA, pp.283-297
 43. Pérez-Bidegain M, García F, Duran A. (2001). Soil use change effect, from pastures to *Eucalyptus* sp., on some soil physical and chemical properties in Uruguay. International Conference on Land Degradation. 3°. Rio de Janeiro,

44. Peri PL, Dube F, Varella AC. (2016). Silvopastoral Systems in the subtropical and temperate zones of South America: An Overview. En: Peri P, Dube F, Varella A. *Silvopastoral Systems in Southern South America*. New York. Springer pp.1-9.
45. Pezzopane JRM, Bosi C, Nicodemo MLF, Santos PM, da Cruz PG, Parmejiani RS. (2015). Microclimate and soil moisture in a silvopastoral system in southeastern Brazil. *Bragantia* 74:110-119.
46. Quesada F, Somarriba E, Malek M. (2010). ShadeMotion 2.2: La simulación de árboles en terrenos planos horizontales o inclinados. Turrialba, CATIE, 60p.
47. Ravera GS. (2002). Crecimiento de *Eucalyptus globulus* ssp. *globulus* en diferentes sitios y en relación al desarrollo radicular en el valle serrano del Arroyo El Soldado, departamento de Lavalleja. Tesis de grado de Ingeniero Agrónomo. Universidad de la Republica. Montevideo, Uruguay.
48. Renaudeau D, Collin A, Yahav S, de Basilio V, Gourdin JL, Collier RJ. (2012). Adaptation to hot climate and strategies to alleviate heat stress in livestock production. *Animal* 6:707-728.
49. Rhoads ML, Rhoads RP, VanBaale MJ, Collier RJ, Sanders SR, Weber WJ, Crooker BA, Baumgard LH. (2009). Effects of heat stress and plane of nutrition on lactating Holstein cows: I. Production, metabolism, and aspects of circulating somatotropin. *J Dairy Sci* 92:1986-1997.
50. Ribaski J, Dedecek RA, Mattei VL, Flores C, Vargas AFC, Ribaski SAG. (2005). *Sistemas Silvopastoris: Estratégias para o Desenvolvimento Rural Sustentável para a Metade Sul do Estado do Rio Grande do Sul*. Brasília, EMBRAPA, 8p.
51. Rodríguez J. (2008). Caracterización del proceso de hidrofobicidad en suelos afectados a la forestación con *Eucalyptus* sp. y *Pinus* sp.” Primera aproximación. Tesis de grado en Biología. Universidad de la República, Montevideo, Uruguay.
52. Ronchi B, Stradaoli G, Verini Supplizi A, Bernabucci U, Lacetera N, Accorsi PA, Nardone A, Seren E. (2001). Influence of heat stress or feed restriction on plasma progesterone, oestradiol-17[beta], LH, FSH, prolactin and cortisol in Holstein heifers. *Livest Prod Sci* 68:231-241.
53. Rovira P. (2014). The effect of type of shade on physiology, behaviour and performance of grazing steers. *Animal* 8:470-476.
54. Sage RF, McKown AD. (2006). Is C4 photosynthesis less phenotypically plastic than C3 photosynthesis? *J Exp Bot* 57:303-317.
55. Salton JC, Mercante FM, Tomazi M, Zanatta JA, Concenço G, Silva WM, Retore M. (2014). Integrated crop-livestock system in tropical Brazil: Toward a sustainable production system. *Agric Ecosyst Environ* 190:70-79.
56. Saravia C, Cruz G. (2003). Influencia del ambiente atmosférico en la adaptación y producción animal. Montevideo, Universidad de la Republica 63 p.
57. Savsani HH, Padodara RJ, Bhadaniya AR, Kalariya VA, Javia BB, Ghodasara SN, Ribadiya NK. (2015). Impact of climate on feeding, production and reproduction of animals-A Review. *Agric Rev* 36:26.
58. Sharrow SH. (1999). Silvopastoralism: competition and facilitation between trees, livestock, and improved grass-clover pastures on temperate rainfed lands. En: Buck L, Lassoie J, Fernandes E. *Agroforestry in sustainable agricultural systems* pp. 122-141
59. Sharrow SH, Ismail S. (2004). Carbon and nitrogen storage in agroforests, tree plantations, and pastures in western Oregon, USA. *Agrofor Syst* 60:123-130.
60. Shrode R, Quazi F, Rupel I. (1960). Variation in rectal temperature, respiration rate, and pulse rate of cattle as related to variation in four environmental variables. *J Dairy Sci* 43:1235-1244.
61. Silveira ED. (2015). Estudio comparativo de la vegetación y cobertura del suelo bajo plantaciones forestales y campo natural. Tesis de Maestría en Ciencias Agrarias, Universidad de la Republica, Montevideo, Uruguay.
62. Silveira ED, Da Rosa E, Bonino L, Zanoniani R, Boggiano P. (2017). Productividad de mezclas forrajeras a cielo abierto y bajo un sistema silvopastoril. Reunión del grupo técnico en forrajeras del cono sur. 24ª. Tacuarembó, Uruguay, p. 171
63. Silveira L, Alonso J, Martínez L. (2006). Efecto de las plantaciones forestales sobre el recurso agua en el Uruguay. *Agrociencia (Uruguay)* 10:75-94.
64. Simeone A, Beretta V, Elizalde JC, Cortazzo D, Viera G. (2010). La problemática del verano en la recría y engorde de ganado de carne en condiciones de pastoreo y de corral. Jornada Anual de la Unidad de Producción Intensiva de Carne (UPIC). 12ª. Paysandu, Uruguay, pp56-63.
65. Sordillo LM, Aitken SL. (2009). Impact of oxidative stress on the health and immune function of dairy cattle. *Vet Immunol Immunopathol* 128:104-109.
66. Sotomayor Á, Teuber O. (2011). Evaluación del efecto de los árboles manejados bajo ordenación silvopastoral en los parámetros climáticos del sitio, en relación a un manejo ga-

nadero sin árboles. *Cienc e Investig For* 17:23-40.

67. Stadtmuller T. (1994). Impacto hidrológico del manejo forestal de bosques naturales tropicales. Medidas para mitigarlo. Turrialba, CATIE p. 62
68. Tamosiunas M. (2015). La integración productiva de árboles y ganado en predios familiares: la visión del productor. *Agrociencia* 19:150-157.
69. Thom EC. (1959). The Discomfort Index. *Weatherwise* 12:57-61.
70. Torres A, Casella M, Cedres A, Munka C, Pastorini V, Posse J. (1995). Diagnóstico de sistemas agroforestales del Uruguay. Montevideo, Universidad de la Republica 63p.
71. Varella AC, Barro RS, Silva JLS, Silva VP. (2016). Silvopastoral Systems in the Cold Zone of Brazil. En: Peri P, Dube F, Varella A. *Silvopastoral Systems in Southern South America*. New York. Springer pp.231-255.
72. Varella AC, Porfírio-da-Silva V, Ribaski J, Soares AB, Moraes A, Moraes H, Saibro JC, Barro RS. (2012). Establecimiento de plantas forrageiras em sistemas de integração floresta-pecuária no sul do Brasil. En: Fontaneli R, Pazinato R. *FORAGEIRAS PARA INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA-FLORESTA NA REGIÃO SUL-BRASILEIRA*. 2ª ed. Brasília, EMBRAPA pp. 435-459.
73. Varella AC, Saibro JC. (1999). Use of cattle and sheep as agents to control the growth of native vegetation underneath three eucalyptus populations. *Rev Bras Zootec* 28:30-34.
74. von Stackelberg N, Chescheir G, Skaggs R, Amatya D. (2007). Simulation of the hydrologic effects of afforestation in the Tacuarembó River Basin, Uruguay. *Trans Am Soc Agric Biol Eng* 50:455-468.
75. Wang Z, Pote J, Huang B. (2003). Responses of Cytokinins, Antioxidant Enzymes, and Lipid Peroxidation in Shoots of Creeping Bentgrass to High Root-zone Temperatures. *J Am Soc Hortic Sci* 128:648-655.
76. West JW. (2003). Effects of heat-stress on production in dairy cattle. *J Dairy Sci* 86:2131-44.
77. Wilson JR, Hill K, Cameron D., Shelton HM. (1990). The growth of *Paspalum notatum* under the shade of a *Eucalyptus grandis* plantation canopy or in full sun. *Trop Grasslands* 24:24-28. entiation of adipose tissue-derived stem cells. *Keio J Med* 54:132-141.