SISTEMA SILVOPASTORIL CON PINO HÍBRIDO EN CORRIENTES, ARGENTINA

[SILVOPASTORAL SYSTEM WITH HYBRID PINE IN CORRIENTES, ARGENTINA]

María Cristina Goldfarb[1], José Francisco Casco[1], Juan José Oscar Verdoljak[1], Jorge Esquivel[2], Juan Carlos Martínez-González[§3], Sonia Patricia Castillo-Rodríguez[3]

[1]Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Estación Experimental Agropecuaria Corrientes. Corrientes, Argentina. [2]Empresa Zeni, S.A., Corrientes, Argentina. [3]Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT)-Facultad de Ingeniería y Ciencias, Cd. Victoria, Tamaulipas, México.

[§]Autor para correspondencia: (jmartinez@docentes.uat.edu.mx).

RESUMEN

Los sistemas silvopastoriles (SSP) son una modalidad que utiliza la producción integrada entre árboles, forrajes y animales. La presencia de cubiertas arbóreas con pino híbrido aumenta la humedad y posibilita una menor amplitud de variación térmica tanto del aire como del suelo. Falta información local sobre cómo estos SSP con pino híbrido (*Pinus elliottii* var. Elliottii x *P. caribaea* var. Hondurensis), modificarían el ambiente fisicoquímico, biológico del suelo e intervienen en la estabilidad de los sistemas productivos en la provincia de Corrientes, Argentina. El objetivo fue caracterizar y analizar variables edáficas y forestales en un SSP con pino híbrido para entender las interacciones de los componentes y cómo influyen en la estabilidad del sistema y calidad de la madera. Se evaluaron variables físicas, químicas y biológicas en suelo, variables dendrométricas, cantidad y contenido mineral en las acículas depositadas en el suelo y la cantidad de luz capturada por el dosel. Se registraron variables meteorológicas automáticamente con un DataLogger instalado en el sitio experimental se contaba con cuatro sensores para humedad y temperatura de suelo y aire, respectivamente. El período experimental se caracterizó por una mayor acumulación de humedad edáfica y temperaturas medias elevadas de suelo y aire. Los contenidos de materia orgánica fueron muy bajos (0.7%). Se concluye que la biomasa microbiana aumentó con los años de plantación del pino. Así como la edad de plantación del pino, modificó la composición botánica, disponibilidad de las especies y el valor pastoral del componente forrajero del SSP.

Palabras clave: Rentabilidad, servicios ecosistémicos, sistemas integrados, sistemas silvopastoril.

ASTRACT

Silvopastoral systems (SSP) are a modality that uses integrated production between trees, forage and animals. The presence of tree canopies with hybrid pine increases humidity and allows a smaller amplitude of thermal variation of both air and soil. There is a lack of local information on how these SSPs with hybrid pine (*Pinus elliottii* var. Elliottii x *P. caribaea* var. Hondurensis) modify the physical-chemical and biological soil environment and intervene in the stability of production systems in the province of Corrientes, Argentina. The objective of this study was to characterize and analyze edaphic and forest variables in a SSP with hybrid pine to understand the interactions of the components and how they influence the stability of the system and the quality of the wood. Soil physical, chemical and biological variables, dendrometric variables, quantity and mineral content in the needles deposited on the soil and the amount of light captured by the canopy were evaluated. Meteorological variables were recorded automatically with a DataLogger installed at the experimental site, with four sensors for soil and air humidity and temperature, respectively. The experimental period was characterized by a higher accumulation of soil moisture and high average soil and air temperatures. Organic matter contents were very low (0.7%). It is concluded that the

Recibido: 20-enero-2021
Aceptado: 31-marzo-2021

microbial biomass increased with the years of pine plantation. Also, the age of pine plantation modified the botanical composition, species availability and the pastoral value of the forage component of the SSP.

Keywords: Ecosystem services, integrated systems, profitability, silvopastoral system.

INTRODUCCIÓN

En la provincia de Corrientes Argentina gran parte de los sistemas silvopastoriles (SSP) se plantan sobre suelos arenosos porque tienen buen potencial ganadero y forestal. Estos suelos arenosos ocupan dos millones de hectáreas y se extienden de norte a sur conformando la agroecorregión "lomadas arenosas, planicies y depresiones de antiguos cauces" (Panigatti, 2010). Son suelos ácidos, susceptibles a degradación, escasa materia orgánica y nutrientes. Sin embargo, falta información local sobre cómo estos SSP con pino híbrido (*Pinus elliottii* var. Elliottii x *Pinus caribaea* var. Hondurensis), modifican el ambiente físico-químico, biológico del suelo y su interacción entre los componentes y como intervienen en la estabilidad del sistema.

En el corto plazo, es necesario documentar estos cambios en el suelo causados por las actividades forestales y la extracción de restos de cortes, que podrían representar una amenaza para la productividad forestal. En particular, en superficies extensas forestadas sobre suelos frágiles y susceptibles a la degradación (Musálem, 2002; Moreno-Calles *et al*., 2013; Buitrago-Guillen *et al*., 2018). Es necesario conocer algunos términos de los sistemas agrosilvopastoriles para poder entender la interacción que existe entre los sistemas forestales, agrícolas y pecuarios (Musálem, 2002). Según, Fedrigo *et al*. (2018) los sistemas silvopastoriles constituyen una modalidad de sistemas agroforestales basada en la producción integrada entre árboles, plantas forrajeras y rumiantes. Una gestión forestal sustentable necesita conocimientos sobre los procesos de cambios y las interacciones entre los componentes del sistema, para adoptar prácticas de manejo en la gestión forestal que eviten o reduzcan esas amenazas y procesos de deterioro (Morello y Rodríguez, 2009; Ramírez-Marcial *et al*., 2012; Orozco-Corral *et al*., 2016).

Los SSP con pino híbrido se difunden en la agroecorregión de la "lomadas arenosas, planicies y depresiones de antiguos cauces" sobre suelos arenosos, frágiles y susceptibles a la degradación. Recientemente aumentó la elección del pino híbrido como especie forestal para esta agroecorregión en especial, por su menor adaptación a otros suelos provinciales con drenaje deficiente; llamados localmente malezales; por el diferencial de productividad combinando velocidad de crecimiento y forma, respecto a *P. elliottii* y *P. taeda;* y por la mayor oferta de plantines producidos en viveros recientemente instalados en esta zona (Boca *et al*., 2017).

Por ello, es necesario evaluar los SSP en producción a escala comercial, plantados sobre suelos arenosos de la provincia de Corrientes, Argentina. Además, las variables químicas y biológicas en el componente suelo y forestal, con diferentes marcos, densidades y edades de plantación de pino híbrido (Iglesias *et al*., 2011). Asi como evaluar variables dendrométricas y la cantidad de luz capturada por el dosel arbóreo durante el año. Por lo anterior, el objetivo de este estudio fue caracterizar en el SSP, considerando variables del componente suelo, forestal y cantidad de luz capturada por el dosel tratando de entender las interacciones de los componentes y cómo influyen en la estabilidad del sistema.

MATERIALES Y MÉTODOS

Tratamientos y sitios experimentales

El estudio se realizó en lotes forestales con diferente edad de plantación (desde 2006 hasta 2011). Los tratamientos fueron las diferentes estancias: San Vicente, Achira, Libertad y La Victoria, con lotes de pino hibrido (*Pinus elliottii* var. Elliottii x *Pinus caribaea* var. Hondurensis), con diferentes edades de plantación; propiedad de la empresa Zeni, S. A., ubicadas en el paraje Malvinas Dto. Esquina–Corrientes, Argentina.

Establecimiento forestal/ganadero de cría que industrializa la producción de madera en aserraderos e industrias propias. En la figura 1 se muestra el mapa provincial con el sector donde están ubicadas las estancias/sitios experimentales.

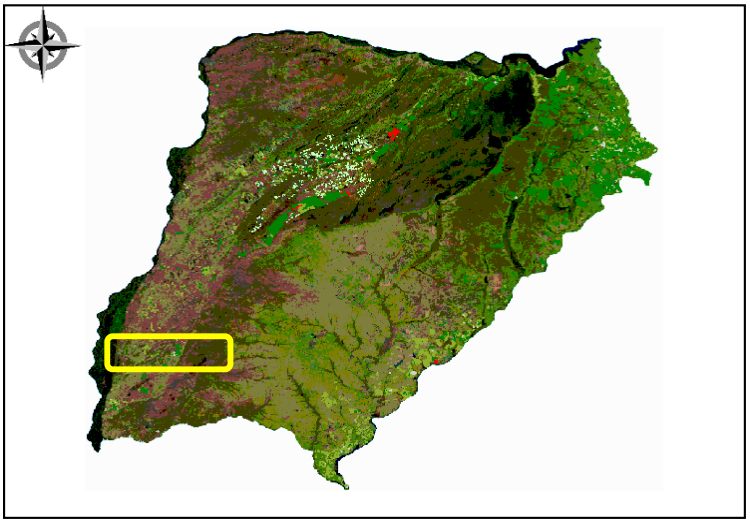

Figura 1. Mapa de la provincia de Corrientes, Argentina (28º 39' 36" LS y 57º 37' 48" LO) con la ubicación de las estancias/sitios experimentales y las áreas forestadas con pino y eucaliptos (27º 51' 17" LS, 59º 11' 41" LO y 46 msnm).

La asignación de los tratamientos (estancias) resultó de la ubicación en el campo donde estaban establecidos los lotes forestales, según la edad y marco de plantación, sin que existiera una correlación entre el año de plantación y el número de tratamientos (Cuadro 1).

Cuadro 1. Descripción del sitio experimental, año, distancia y marco de plantación, componentes forestal y forrajero de los tratamientos.

Trat.	Estancia	Año de plantación	Distancia y marco de plantación (m)		Componentes: forestal y forrajero
T1	San Vicente	2006	6 x 4	LS *	P.h. + Bh
T2	Achira	2006	4 x 2.5 x 12		P.h. + Bh
T3	Libertad	2010	4 x 2.5 x 10		P.h. + P
T4	San Vicente	2007	4 x 2.5 x 12	LD **	P.h. + S
T5	San Vicente	2008	4 x 2.5 x 12		P.h. + Bt + Bb + S
T6	San Vicente	2011	4 x 2.5 x 10		P.h. + P
T7	La Victoria	2009	4 x 2.5 x 12		P.h. + S

Trat. = tratamiento; Rep. = repetición; LS = línea simple; LD = Líneas dobles. P.h. = pino hibrido; Bh = *Brachiaria humidicola*; P = pastizal; S = *Setaria sphacellata* var Sericea cv Narok; Bt = *Brachiaria toledo*; Bb = *Brachiaria brizantha* cv Marandu; S = *Setaria sphacellata* var. Sericea cv Narok.

Datos meteorológicos

Se registró con el DataLogger la humedad y temperatura de suelo y aire (Figura 2). Se instalaron en cada estancia y repetición dos transectos de 100 m cada uno, y a lo largo de ellos, cada 10 m utilizando un cuadro de 250 cm^2 (50 cm*50 cm), se midieron según el marco de plantación: Líneas simples (***LS)*** se tomaron los datos en la línea de plantación y entre las líneas plantadas; Líneas dobles (***LD***) se tomaron los datos entre la

línea de plantación y en las calles con pasto, entre las líneas plantadas con el pino hibrido. Sobre estos transectos se midieron todas las variables. Las fechas de muestreo fueron: F1 = 14/05/2013; F2 = 27/08/2013; F3 = 12/12/2013 y F4 = 10/04/2014.

Figura 2. DataLogger instalado en la Estancia San Vicente. (Fuente: Imagen propia).

Variables edáficas

Químicas**:** las determinaciones se realizaron en el laboratorio de suelo del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria de la Estación Experimental Agropecuaria Corrientes. Las variables químicas evaluadas fueron: pH con potenciómetro, relación suelo:agua 1:2.5 y los minerales fósforo por Bray y Kurtz (1945) 1 IRAM 29570; cationes usando extráctate acetato de amonio 1 N; Ca y Mg por complejometría con EDTA; K y Na por fotometría de llama. La materia orgánica por Walkley y Black (1934). Determinación de carbono orgánico oxidable por mezcla sulfocrómica en suelos. IRAM-SAGPyA 29571-2; la conductividad: relación suelo: agua 1:2.5 y el nitrógeno y carbono total por LECO.

Variables microbiológicas

Las determinaciones biológicas, masa microbiana e identificación de las poblaciones se realizaron en los laboratorios del Instituto de Microbiología y Zoología Agrícola (IMyZA) del INTA Castelar, Provincia de Buenos Aires; y en el laboratorio de suelos del INTA EEA Marcos Juárez, Provincia de Córdoba. Para la masa microbiana se utilizó el siguiente procedimiento: a partir de suelos de cada tratamiento se determinó el número más probable (NMP) de poblaciones de pseudomonas fluorescentes, rizobios (de leguminosas nativas), Azospirilos, Azotobacter u otros fijadores de nitrógeno y/o solubilizadores de P en el suelo. Se sembraron diluciones de los mismos en medios específicos (YEM, NfB, RC, LG y BURK, King B) y se aislaron los microorganismos según morfología de la colonia y características mediante la metodología descrita por Aquilanti *et al*. (2004). Los aislamientos fueron caracterizados por morfología y tamaño de las colonias, tinción de Gram, motilidad, solubilización de fosfatos, mediante la visualización de halo de solubilización en placas conteniendo Ca_3 $(PO4)_2$.

Para la caracterización de poblaciones con capacidad endofítica, los métodos utilizados fueron: biomasa y respiración microbiana (mg CO_2 100 g^{-1}): (Jenkilson y Powlson, 1976); FDA (ug fluoresceína kg^{-1} h^{-1}) que consiste en la hidrólisis de fluoresceína diacetato el cual se utiliza para una amplia gama de organismos del suelo (Alef y Nannipieri, 1995); fosfatasa ácida (ug p-nitrofenol kg^{-1} h^{-1}) que estima la

liberación de fosfatos a partir de compuestos orgánicos (Alef y Nannipieri, 1995) y glomalinas (mg g^{-1} agregado): glicoproteínas vinculadas a la agregación de partículas de suelo (Wright y Upadhyaya, 1998).

Medidas del componente forestal

Al inicio (F1) y al final (F4) de la actividad se midieron las siguientes variables: número de árboles; diámetro a la altura del pecho (DAP; con forfícula [cm]); altura total (con clinómetro [grados de inclinación]); área basal (AB = 0.785*DAP^2* Densidad de plantas ha^{-1}) y volumen (m^3). Las parcelas de medición tenían una superficie de 40 m*100 m.

La luz incidente bajo el dosel arbóreo (RAF), se midió con un Ceptómetro dual (Figura 3), de lectura directa en flujo de fotones (RAD=XX uMOL m^{-2} s^{-1}), cuya barra de lectura registraba bajo el dosel en forma simultánea con un radiómetro instalado a cielo abierto, conectado ambos mediante un cable de 100 m; esto permite tomar datos aún en días con nubes. En cada repetición se registró en total 1,800 puntos/tratamiento entre las líneas (L) dobles de plantación del pino, en las calles (C) que las separaban y cruzando las calles hasta la siguiente línea doble (L+C). La luz incidente y la proyección de sombra sobre el estrato herbáceo y por diferencia se calculó la cantidad de luz que capturaba el dosel. Este instrumento mide simultáneamente bajo y fuera del dosel.

Figura 3. Ceptómetro dual para medir la incidencia de luz. (Fuente: imagen propia).

Se tomaron 2,000 puntos en cada tratamiento. En el tratamiento con líneas simples (LS) se recorrió el monte en ambas direcciones, atravesando las líneas de plantación. En los tratamientos con líneas dobles (LD) y diferentes anchos del callejón se midió cruzando las líneas de plantación y paralelas a la línea del callejón y línea de plantación. La medición de luz cruzada se midió en tres puntos de los transectos a los 30, 60 y 90 m. Se cruzó el callejón y entre línea de plantación en LD; y de línea a línea de plantación en LS. Se midió un punto cada 50 cm, lo que significa el doble según el marco de plantación.

Análisis de los datos

Todas las variables cuali-cuantitativas se analizaron utilizando el software "Haeve" (INTA®) desarrollado por la EEA INTA Corrientes. Se aplicó un diseño de muestreo sistemático (DMS) con arreglo aleatorio en cada tratamiento, adoptándose como testigo (T0) los callejones o espacios interfilares, n = 3360 (siete tratamientos; tres repeticiones; dos transectos $repetición^{-1}$ 20 lecturas $transecto^{-1}$ cuatro fechas $muestreo^{-1}$). Se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) y en aquellos casos donde hubo diferencia significativa se aplicó la prueba de medias de Duncan (α=0.05).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las figuras 4, 5, 6 y 7 se presentan los registros medidos por el DataLogger de la temperatura del aire (°C), humedad del aire (%), temperatura del suelo (°C) y humedad del suelo (%), respectivamente.

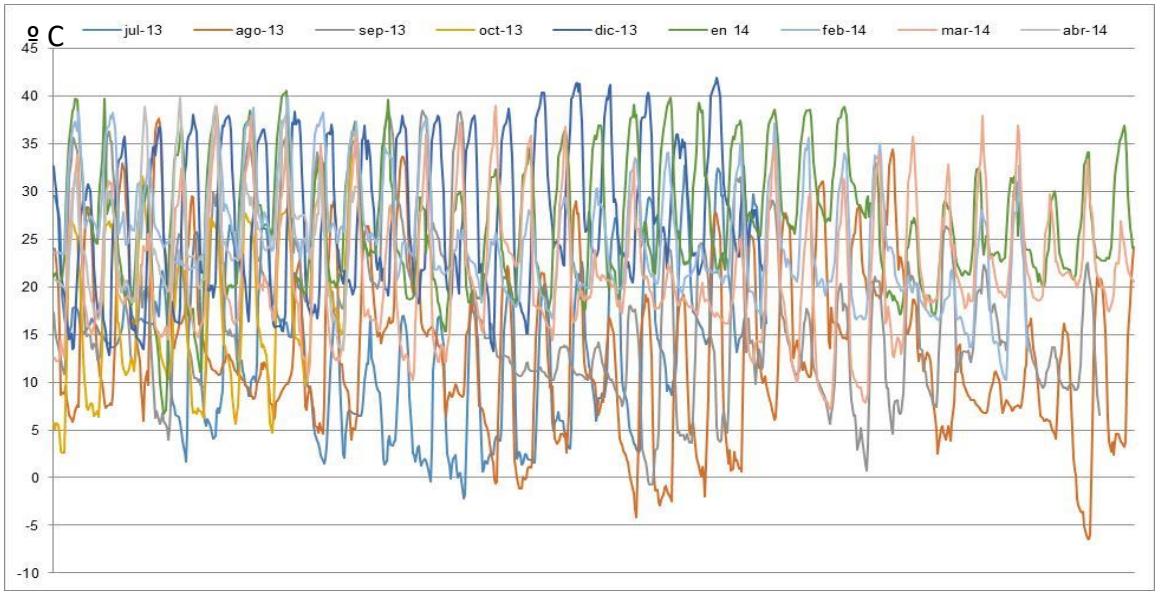

Figura 4. Temperatura del aire (º C) durante el período experimental desde el 11/07/2013 hasta 09/04/2014, con las interrupciones por el deterioro de los sensores del suelo (datos propios).

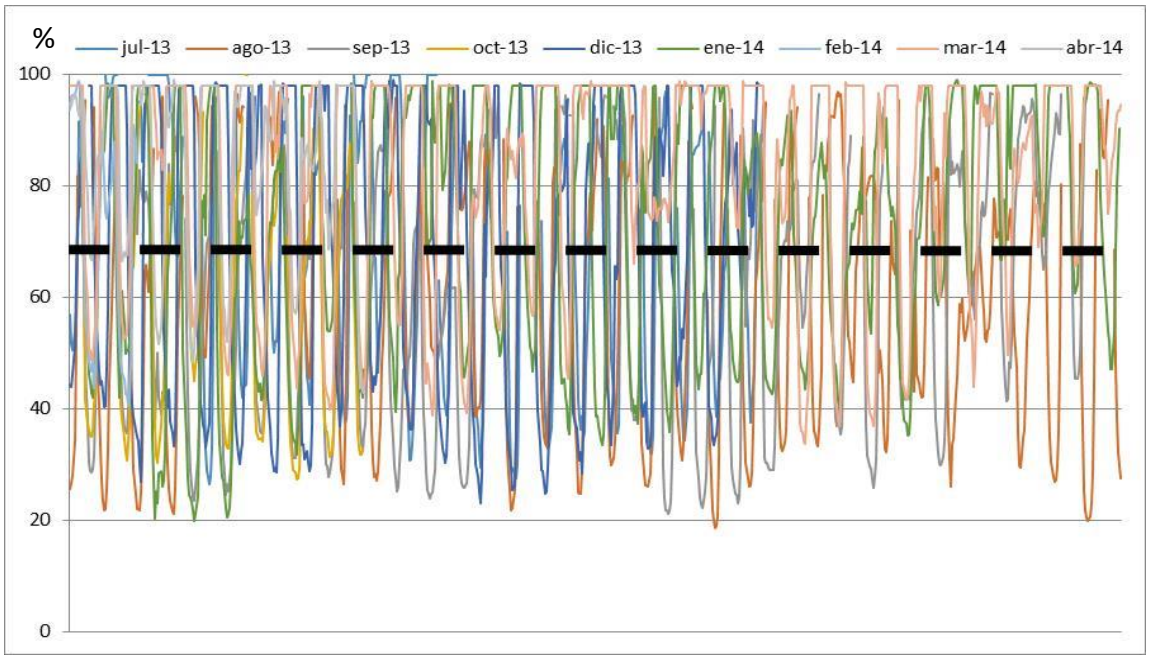

Figura 5. Humedad del aire (%) durante el período experimental desde el 11/07/2013 hasta 09/04/2014, con las interrupciones por el deterioro de los sensores del suelo (datos propios).

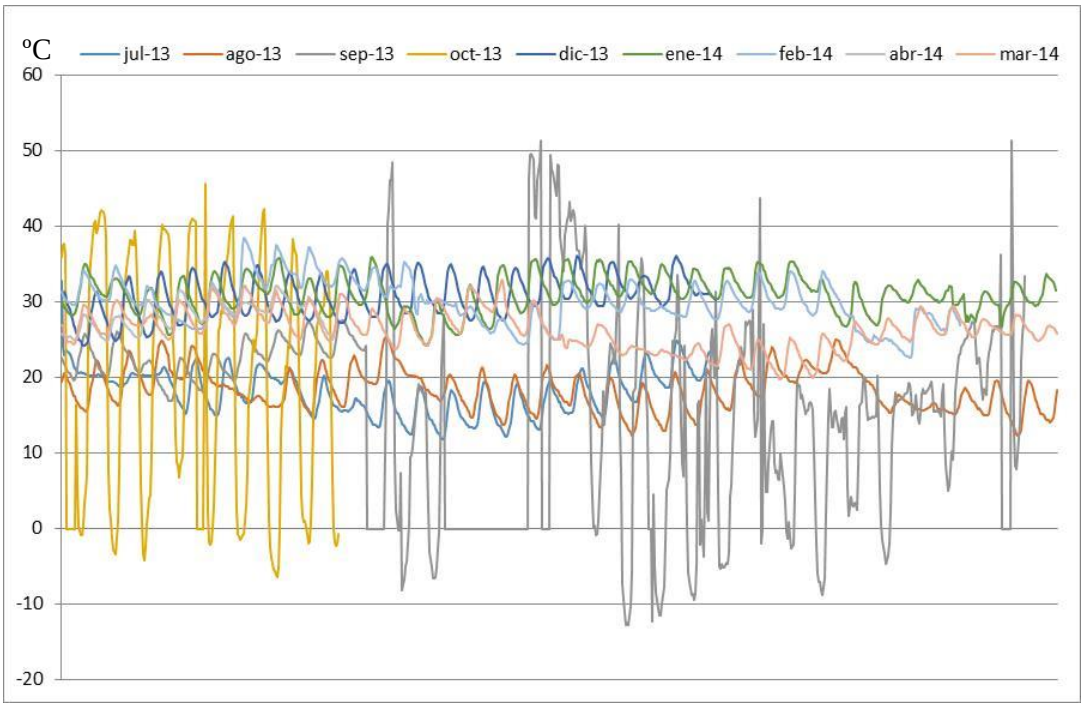

Figura 6. Temperatura del suelo (º C) durante el período experimental desde el 11/07/2013 hasta 09/04/2014, con las interrupciones por el deterioro de los sensores del suelo (datos propios).

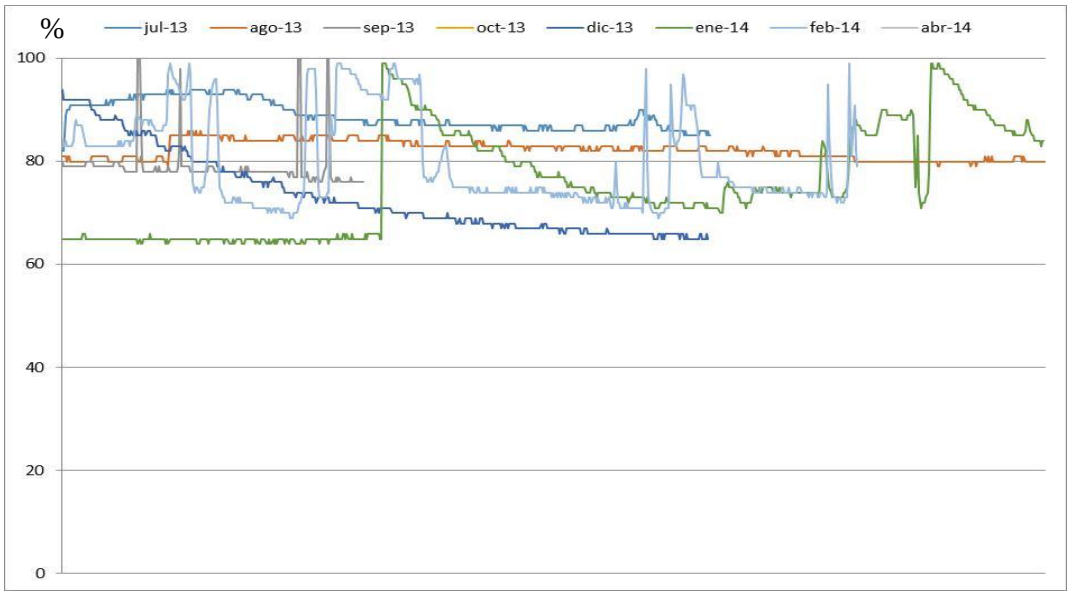

Figura 7. Humedad del suelo (%) durante el período experimental desde el 11/07/2013 hasta 09/04/2014, con las interrupciones por el deterioro de los sensores del suelo (datos propios).

El período experimental se caracterizó por acumulación de humedad edáfica y temperaturas medias elevadas de suelo y aire. Se registraron temperaturas del aire inferiores o igual a 0 ºC el 22 y 23 de julio y los días 10, 11, 14, 15, 16, 23 y 27 de agosto de 2013. Las mínimas extremas mensuales en este período fueron -2.2 el 23 de julio; y -6.4 ºC el 26 de agosto ambas a las 7 de la mañana. Aunque julio de 2013 y agosto de 2013 fueron meses sin lluvias estos suelos arenosos con la "napa colgada" mantienen la humedad en porcentajes elevados (Largaespada y Henríquez, 2015).

Variables edáficas

El pH, fósforo y aluminio variaron ($p<0.05$) entre tratamientos, fechas; L, C y profundidades. El pH disminuyó 0.5 unidades año^{-1} y el Al aumentó 0.3 unidades año^{-1}, ambos proporcionalmente con la edad de plantación (T6 < T1); lo que no se observó en el resto de los elementos. Los contenidos de MO y resto de elementos químicos fueron muy bajos, no variaron entre tratamientos, profundidades, en L, C y no se observó una relación con la edad de plantación.

En estos suelos, acidez y Al, afectan la disponibilidad de nutrientes especialmente fósforo, calcio y magnesio acentuando las limitaciones impuestas por la escasa fertilidad propias de los suelos. Estos sufren el efecto de la toxicidad del aluminio cuando la concentración de este catión, en la solución del suelo es mayor a 2 ppm. Sin embargo, al presentar estos suelos muy baja fertilidad, concentraciones menores del Al en el medio, agua y suelo, puede ocasionar serios riesgos para la disponibilidad de fósforo y cationes. Las variables de mayor impacto entre tratamientos (T1 = 2006 vs T6 = 2011), profundidades, líneas (L) y calles (C) (Cuadro 2).

Cuadro 2. Profundidad, pH, fósforo (ppm), materia orgánica (%), aluminio (cmol kg^{-1}) en T1 = 2006 y T6 = 2011.

	T2 = 2006 8 años de plantación al 2013/14				**T6 = 2011 3 años de plantación al 2013/14**			
Sector	Línea (L)		Calle (C)		Línea (L)		Calle (C)	
Prof. (cm)	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20
pH	4.96 a	4.97 a	5.08 a	5.09 a	5.57 b	5.48 a	5.64 b	5.49 a
P (ppm)	4.21 a	1.93 a	3.20 a	1.72 a	4.83 a	2.48 a	3.80 a	2.04 a
MO (%)	0.77 a	0.55 a	0.73 a	0.54 a	0.64 a	0.58 a	0.69 a	0.54 a
Al (cmol kg^{-1})	0.14 b	0.18 b	0.12 b	0.13 b	0.00 a	0.00 a	0.00 a	0.00 a

Medias con letras diferentes entre las columnas de líneas y calles son significativamente diferentes (Duncan, 0.05). (Elaboración propia).

Los contenidos de Al variaron entre los tratamientos; con ligeros aumentos con la edad de plantación; se puede apreciar que fueron mayores en T1 = 2006 vs T6 = 2011 (Cuadro 2). El contenido de sodio (ppm), magnesio (ppm), potasio (ppm) y calcio (ppm) medidos en las calles, líneas, en dos profundidades, cuatro fechas y tratamientos/año de plantación (Cuadro 3).

Biomasa microbiana

La biomasa microbiana (BM) (ugC. g^{-1}) varió entre tratamientos ($p < 0.05$) T1 2006 = 43.79 ugC. g^{-1}, T2 2007 = 21.91 ugC. g^{-1}, T3 2008 = 37.51 ugC. g^{-1}; T4 2009 = 20.14 ugC. g^{-1}; T5 2010 = 29.09 ugC. g^{-1}, y T6 2011 = 21.72 ugC. g-1. En T1 2006 = 8 años vs T6 2011 = 3 años de plantación, se incrementó un 100%; variando desde 21.72 ugC. g^{-1} en T6 2011 hasta 43.79 ugC. g^{-1} en T1 2006 (Cuadro 3).

Cuadro 3. Contenidos de sodio, magnesio, potasio y calcio. medidos en las calles, líneas, en dos profundidades, cuatro fechas y tratamientos año^{-1} de plantación.

Sitio		Prof (cm)		Fechas (F)				Años de plantación					
C	**L**	**0-10**	**10-20**	**F1**	**F2**	**F3**	**F4**	**2006 (8)**	**2007 (7)**	**2008 (6)**	**2009 (5)**	**2010 (4)**	**2011 (3)**
Sodio (ppm)													
0.08^{a}	0.08^{a}	0.10^{b}	0.06^{a}	0.08^{b}	.10^{c}	0.07^{a}	0.06^{a}	0.07^{a}	0.10^{c}	0.09^{c}	0.07^{a}	0.09^{c}	0.08^{b}
Magnesio (ppm)													
0.19^{a}	0.20^{a}	0.19^{a}	0.20^{b}	0.20^{b}	.20^{b}	0.19^{a}	0.19^{a}	0.19^{a}	0.20^{b}	0.20^{b}	0.19^{b}	0.19^{b}	0.20^{b}
Potasio (ppm)													
0.05^{b}	0.04^{a}	0.06^{b}	0.04^{a}	0.05^{b}	.05^{a}	0.05^{b}	0.04^{a}	0.04^{a}	0.05^{a}	0.06^{c}	0.04^{a}	0.06^{c}	0.05^{a}
Calcio (ppm)													
0.30^{a}	0.31^{a}	0.38^{b}	0.23^{a}	0.37^{b}	.36^{b}	0.25^{a}	0.25^{a}	0.25^{a}	0.36^{b}	0.29^{a}	0.30^{ab}	0.35^{b}	0.28^{a}

Prof = profundidad; C = calle; L = línea; Medias con letra distinta entre columnas son significativamente diferentes (Duncan p=0.05).

El aporte del estrato herbáceo, acumulación de raíces, el depósito de acículas; los residuos de podas y raleos explicarían el aumento de la BM con la edad del pino. He *et al*. (1997) observaron un aumento en el contenido de carbono del suelo en plantaciones de pinos con más de tres años y explicaron que esto se debía a la contribución que hace la masa de raíces finas del pino, las cuales pueden contribuir con un 30 al 40 % del pool del carbono orgánico del suelo. Los mismos autores destacan el aporte del estrato herbáceo que contribuye con su biomasa vegetal subterránea y aérea. El pastizal de *Andropogon lateralis* acumula en el estrato aéreo y radical 5 y 7 t ha^{-1} año^{-1}, respectivamente (Casco *et al*., 2000).

John *et al*. (2002) observaron que una mayor entrada de luz hacia el suelo contribuye a la proliferación de raíces finas, a la estabilidad de los agregados y a la preservación del carbono en el suelo. En los sistemas agro foresto ganaderos (SAFG), el marco de plantación en líneas dobles con menor densidad de plantas ha^{-1} permite una mayor incidencia de luz sobre el estrato herbáceo. En rodales de pinos con más de 5 años en Australia, se midieron incrementos de la concentración del carbono microbial asociado al mayor contenido de acículas acumuladas en la superficie del suelo, al reducido reciclaje y al largo período de residencia de la materia orgánica en estas plantaciones (Mendham *et al*., 2002).

Entre tratamientos no hubo diferencias en C pero si en L ($p<0.05$) lo que explicaría aún más el efecto que ejerce el pino sobre la BM (Figura 8). En la BM, su actividad y estructura comunitaria, son influenciadas por especies arbóreas, debido a que la composición química de la hojarasca y de las raíces influyen en la descomposición de las entradas orgánicas (Prina *et al.,* 2001). La mayor BM registrada entre las líneas de plantación del pino concuerda con lo señalado por el mismo autor quien observó una cantidad significativa de carbono en la misma situación, se encuentra preservada en los microorganismos del suelo; por lo que el pino podría contribuir no sólo con su biomasa aérea y subterránea, sino también con la biomasa microbiana del suelo, a la captura de parte del CO_2 emitido hacia la atmósfera. Se comparó la BM (ugC. g^{-1}) entre fechas F1.14/05/13 = 24.01(a); F2.27/08/13 = 37.46(a); F3. 2/12/13 = 22.36(a) y F4.10/04/14 = 32.27(a); aunque estos resultados no fueron estadísticamente significativos ($p > 0.05$) entre las fechas, se observó un incremento del 3.58 (ugC. g^{-1}) entre las fechas lo que significa un 20% del valor hallado desde el inicio del ensayo.

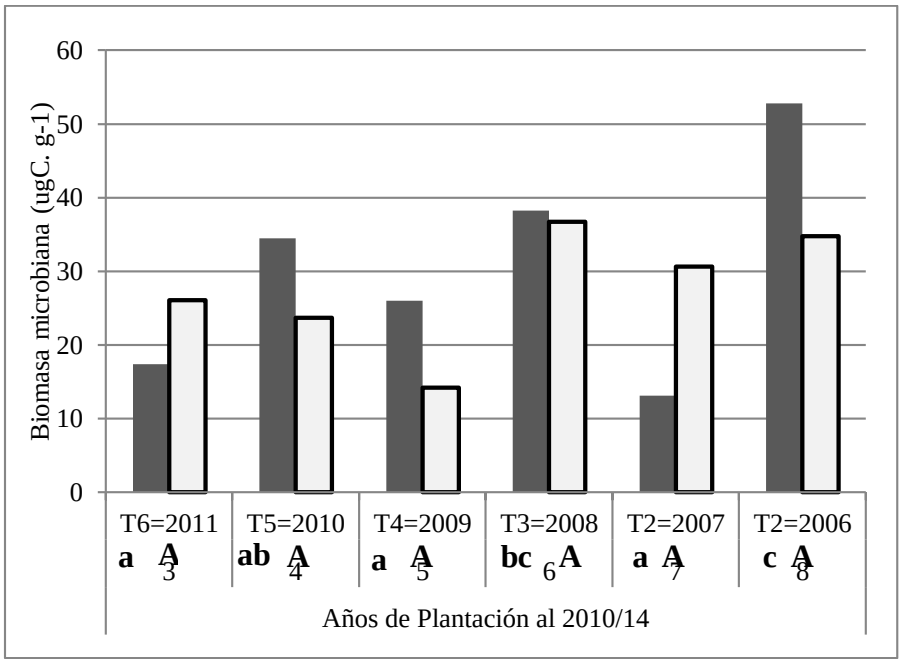

Figura 8. Biomasa microbiana en cada tratamiento comparando las calles (■) y entre líneas (□) de plantación del pino híbrido. Medias con diferente literal son significativamente diferentes (Duncan = 0.05) entre tratamientos de calle y línea.

Estudios desarrollados desde hace varias décadas han destacado la importancia de la biomasa microbiana como un indicador anticipado de los cambios en la materia orgánica total del suelo (Powlson *et al*., 1987). Esto se debe a que la materia orgánica del suelo está integrada por una gran diversidad de fracciones que dan como resultado pequeñas variaciones del conjunto a través del tiempo, prácticamente imperceptibles en el corto plazo por análisis químicos. En cambio, la biomasa microbiana a pesar de representar entre el 2.3 al 4% del total del carbono orgánico del suelo (Anderson y Domsch, 1986) responde más rápido a los cambios en el manejo y es un buen predictor de los procesos de acumulación del carbono y en los ciclos biológicos edáficos (Powlson *et al*., 1987).

La biomasa microbiana también es una fuente de nutrientes para las plantas, más aún en suelos altamente meteorizados como Alfisoles y Oxisoles (Oberson *et al*., 2008). En estos suelos la disponibilidad de nutrientes, tales como el fósforo depende más de la rotación de los compuestos orgánicos del suelo mediados por microorganismos, que por la desorción del fósforo retenido por los coloides minerales (Tiessen *et al*., 1984). Además, del manejo agronómico del sistema de producción otros factores podrían explicar la variabilidad en los resultados hallados en este trabajo. Insam *et al.* (1989) observaron que diferentes condiciones climáticas influyen sobre la biomasa microbiana y la proporción que ésta representa de la materia orgánica total del suelo. Dentro de las condiciones climáticas de importancia sobre estos parámetros, la relación entre precipitación y evaporación son citados como las de mayor efecto (Insam *et al.*, 1989).

Aunque estos resultados son preliminares representan un punto de partida para futuras investigaciones porque muestran una tendencia de que la biomasa microbiana aumentó en el SAFG con la edad del pino; y que esta sería mayor entre las líneas de plantación donde los árboles ejercerían más efecto. Se destaca la necesidad de continuar midiendo en estos sistemas la biomasa microbiana con la finalidad de contribuir al aporte de herramientas de diagnóstico sobre la calidad de los suelos arenosos.

Medidas del componente forestal

La altura de los árboles y el diámetro a la altura del pecho (DAP) medidos al final de la experiencia (Cuadro 4).

Cuadro 4. Altura y diámetro a la altura del pecho de los árboles al final del estudio (2014).

Año de plantación	**2006**	**2006**	**2010**	**2007**	**2008**	**2011**	**2009**
Tratamientos	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
Edad de los árboles al final de la actividad (años)	8	8	4	7	6	3	5
Marco de plantación	LS			LD			
Altura (cm)	13	18	10	9	7	3	6
DAP (cm)	20	21	19	18	16	10	15

T = tratamiento; LS = línea sencilla; LD = línea doble.

En las figuras 9, 10, 11 y 12 se muestra el área basal (AB) ha^{-1} y volumen en m^3 ha^{-1} medidas en F1 (14/05/2013) y F4 (10/04/2014)

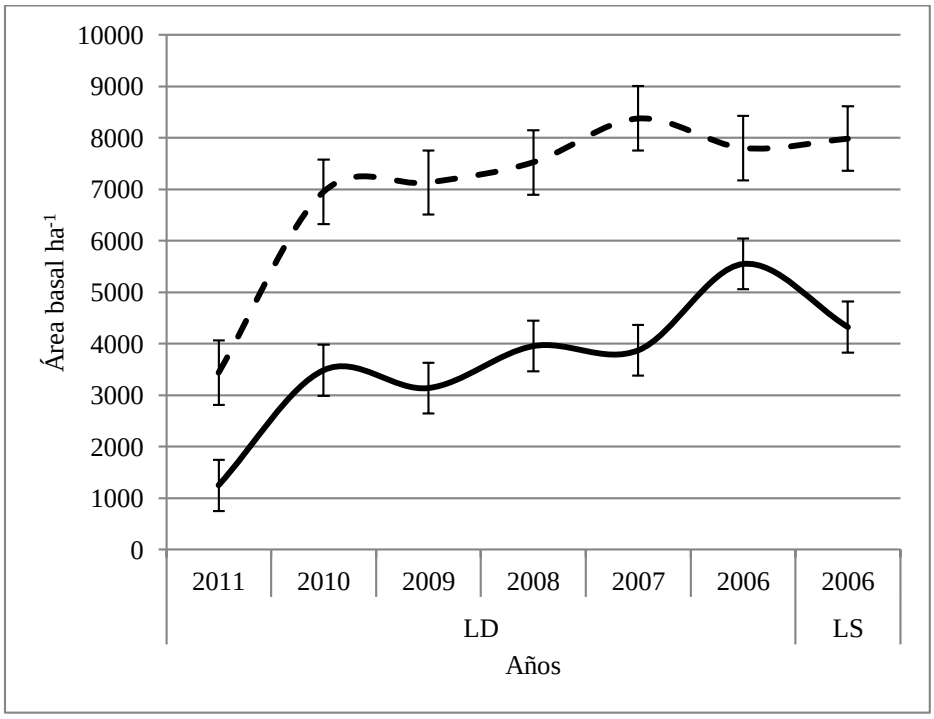

Figura 9. Área basal en línea doble (LD) y en línea simple (LS) (----) ha^{-1} medida en fecha 1 (14/05/2013) y F4 (___) (10/04/2014).

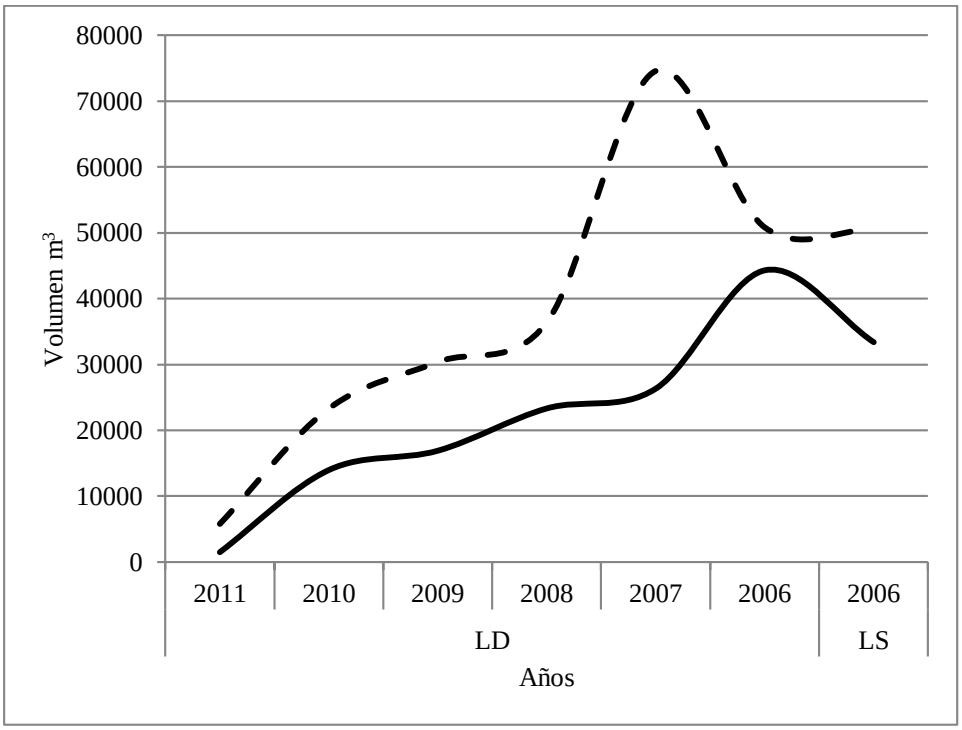

Figura 10. Volumen medido en F1 (---) (14/05/2013) y F4 (___) (10/04/2014).

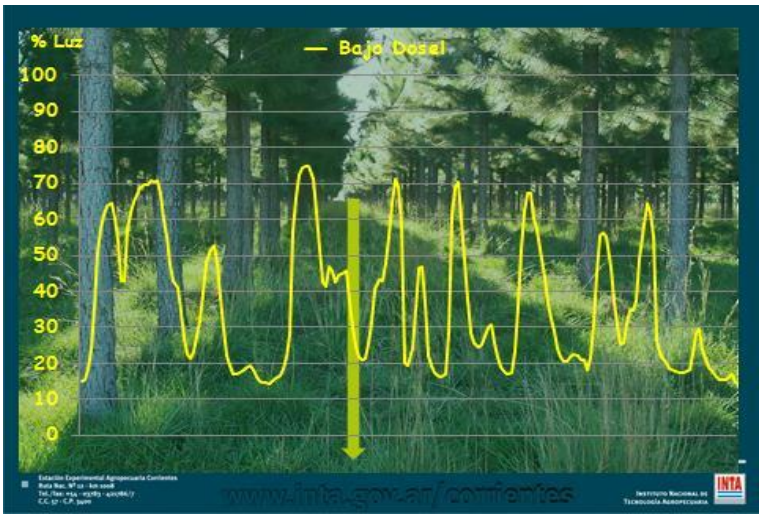

Figura 11. Medición de la luz bajo el dosel siguiendo la línea de plantación.

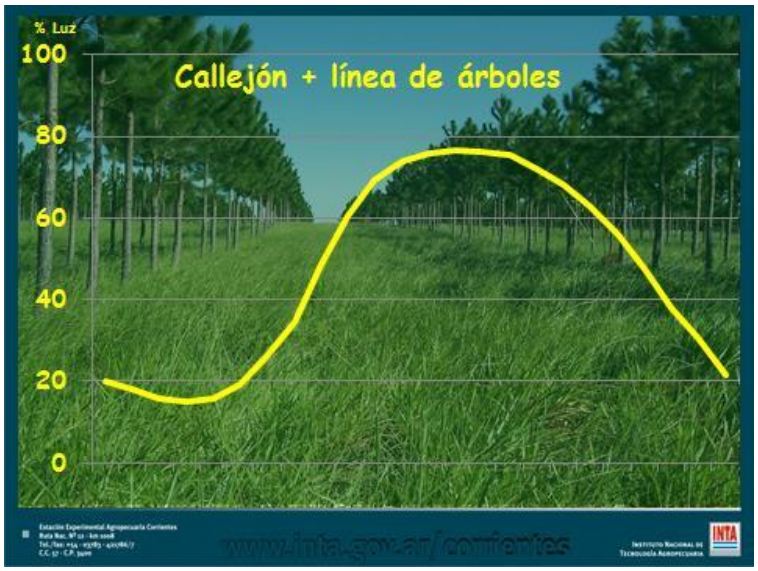

Figura 12. Medición de la luz atravesando la calle y línea de plantación.

CONCLUSIONES

La biomasa microbiana aumentó con los años de plantación del pino. Entre las líneas la cantidad de biomasa microbiana fue mayor que en las calles. No se observaron diferencias entre las fechas de medición. La cantidad y distribución de luz incidente varió con la edad y altura del pino, manejo forestal, fechas y formas de medición. Se destaca la importancia de esta variable como herramienta para decidir el manejo forestal del SSP y mantener el componente forrajero en producción. En SSP con líneas dobles y calles de 12 m la cantidad de luz incidente se mantuvo por encima del nivel crítico para el crecimiento del componente forrajero.

AGRADECIMIENTOS

A la Empresa Zeni, S.A. – Malvinas Esquina, donde se instaló el ensayo.

LITERATURA CITADA

Alef, K. and P. Nannipieri. 1995. Methods in applied soil microbiology and biochemistry. AC. Press. London. pp. 232-233.

Anderson, T.H. and K.H. Domsch. 1986. Carbon link between microbial biomass and soil organic matter. In. Proceedings of the fourth international symposium on microbial ecology. F. Megusar and M. Gantar, eds. pp. 467-471.

Aquilanti L., F. Favilli and F. Clemeti. 2004. Comparison of different strategies for isolation and preliminary identification of *Azotobacter* from soil samples. Soil Biol. Biochem. 36:1475-1483. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2004.04.024.

Boca, T., H. Fassola, E. Crechi, S. Barth, A. Kelle, R. Winck and P. Ferrere. 2017. Modelos aditivos de predicción de biomasa aérea de *Pinus elliottii* var. elliottii x *Pinus caribaea* var. hondurensis de Misiones Argentina. Quebracho. Revista de Ciencias Forestales 25(1-2):5-15. https://www.redalyc.org/journal/481/48156296002/html.

Bray, R.H. and L.T. Kurtz. 1945. Determination of total, organic and available form of phosphorus in soil. Soil Sci 59:39-45. https://doi.org/10.1097/00010694-194501000-00006.

Buitrago-Guillen, M.E., L.A. Ospina-Daza and W. Narváez-Solarte. 2018. Sistemas silvopastoriles: alternativa en la mitigación y adaptación de la producción bovina al cambio climático. Boletin

Científico Museo Histórico Natural Universidad de Caldas, 22(1):31-42. https://doi-org/10.17151/bccm.2018.22.1.2.

Casco, J.F., M.C. Goldfarb and L.I. Giménez. 2000. Identificación y estimación del rendimiento de materia seca de las principales especies de un pastizal del noroeste de la provincia de corrientes. Revista Argentina de Producción Animal 20 (Sup. 1):191-192. https://ppct.caicyt.gov.ar/index.php/rapa/issue/archive?issuesPage=2#issues.

Fedrigo, J.K., V. Benítez, R. Santa Cruz, J.P. Posse, R. Santiago-Barro, J. Hernández, C. Mantero, V. Morales-Olmos, E.D. Silveira and C. Viñoles. 2018. Oportunidades y desafíos para los sistemas silvopastoriles en Uruguay. Veterinaria (Montevideo) 54(209):9999926-41. https://doi.org/10.29155/vet.54.209.4.

He, Z.L., J.A. Wu, G.O. Donnell and J.K. Syers. 1997. Seasonal responses in microbial biomass carbon, phosphorus and sulphur in soils under pasture. Biol. Fertil. Soils. 24:421-428. https://doi.org/10.1007/s003740050267.

Iglesias, J.M., F. Funes-Monzote, O.C. Toral, L. Simón and M. Milera. 2011. Diseños agrosilvopastoriles en el contexto de desarrollo de una ganadería sustentable. Apuntes para el conocimiento. Pastos y Forrajes, 34(3):241-257. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942011000300001&lng=es&tlng=es.

Insam, H., D.D. Parkinson and K.H. Domsch. 1989. The influence of macroclimate on soil microbial biomass levels. Soil Biol. & Biochem. 21:211-221. https://doi.org/10.1016/0038-0717(89)90097-7.

Jenkinson, D.S. and D.S. Powlson. 1976. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil-V: A method for measuring soil biomass. Soil Biology and Biochemistry. 8:209-213. http://dx.doi.org/10.1016/0038-0717(76)90005-5.

John, B., H.N. Pandey and R.S. Tripathi. 2002. Decomposition of fine roots of *Pinus Kesiya* and turnover of organic matter, N and P of coarse and fine pine roots and herbaceous roots and rhizomes in subtropical pine forest stands of different ages. Biol. Fertil. Soils. 35:238- 246. https://doi.org/10.1007/s00374-002-0470-8.

Largaespada, K. and C. Henríquez. 2015. Distribución espacial de la humedad y su relación con la textura en un suelo. Agr Costarr, 39 (Suppl. 1):137-147. http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0377-94242015000300137&lng=en&tlng=es.

Mendham, D.S., A.M.O. Connell and T.S. Grove. 2002. Organic matter characteristics under native fores, long-term pasture, and recent conversion to eucalyptus plantations in wester Australia: microbial biomass, soil respiration, and permanganate oxidation. Aust. J. Soil Res. 40:859-872. https://doi.org/10.1071/SR01092.

Morello, J.H. and A.F. Rodríguez. 2009. El Chaco sin bosques: la Pampa o el desierto del futuro. Buenos Aires, Argentina. p. 432. file:///C:/Users/jmartinez/Downloads/216727spa.pdf.

Moreno-Calles, A.I., V.M. Toledo and A. Casas. 2013. Los sistemas agroforestales tradicionales de México: Una Aproximación Biocultural. Botanical Sciences 91 (4): 375-398. https://www.scielo.org.mx/pdf/bs/v91n4/v91n4a1.pdf.

Musálem, M.Á.S. 2002. Sistemas agrosilvopastoriles: una alternativa de desarrollo rural sustentable para el trópico mexicano. Rev Chapingo Ser Cienc For Ambient. 8(2):91-100. https://www.biopasos.com/biblioteca/Agrosilvopastoriles_musalem.pdf.

Oberson, A., D.K. Friesen, I.M. Rao, S. Bühler and E. Frossard. 2008. Phosphorus transformation in an oxisol under contrasting land-use systems: the role of the soil microbial biomass. Plant and Soil 237:197-210. https://doi.org/10.1023/A:1013301716913.

Orozco-Corral, A.L., M.I. Valverde-Flores, R. Martínez-Téllez, C. Chávez-Bustillos and R. Benavides-Hernández. 2016. Propiedades físicas, químicas y biológicas de un suelo con biofertilización cultivado con manzano. Terra Latinoamericana 34(4):441-456. http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v34n4/2395-8030-tl-34-04-00441.pdf.

Panigatti, M.Á. 2010. Argentina 200 años 200 suelos. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Asociación Argentina Ciencia del Suelo. 345 p. https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-200-suelos.pdf.

Powlson, D.S., P.C. Brookes and B.T. Christensen. 1987. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total soil organic matter due to straw incorporation. Soil Biol. Biochem. 19(2):159-164. https://doi.org/10.1016/0038-0717(87)90076-9.

Prina, O., S.J. Grayston, R. Hiukka, T. Pennanen and A. Smolander. 2001. Microbial community structure and characteristics of the organic matter in soils under *Pinus sylvestris, Picea abies* and *Betula pendula* at two forest sites. Biol. Fertil. Soils 33:17–24. https://doi.org/10.1007/s003740000281.

Ramírez-Marcial, N., M.I. Rueda-Pérez, B.G. Fergunson and G. Jiménez-Ferrer. 2012. Características del sistema agrosilvopastoril en la Depresión Central de Chiapas. AIA. 16(2):7-22. http://ww.ucol.mx/revaia/portal/pdf/2012/mayo/1.pdf.

Tiessen, H.M., J.W.B. Stewart and C.V. Cole. 1984. Pathways in phosphorus transformations in soils of differing pedogenesis. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 48:853–858. https://doi.org/10.2136/sssaj1984.03615995004800040031x.

Walkley, A. and I.A. Black. 1934. An examination of the degtjareff method for determining organic carbon in soils: Effect of variations in digestión conditions and of inorganic soil constituents. Soil Sci. 63:251-263. DOI: 10.1097/00010694-193401000-00003

Wright, S.F. and A. Upadhyaya. 1998. A survey of soils for aggregate stability and glomalin, a glycoprotein produced by hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi. Plant and Soil 198:97-107. https://doi.org/10.1023/A:1004347701584.