

Efecto de distintos niveles de sombra del dosel de *Pinus taeda* L. sobre la acumulación de biomasa forrajera de *Axonopus compressus* (Swartz) Beauv*

Effect of different shadow levels of *Pinus taeda* L. canopy on *Axonopus compressus* (Swartz) Beauv forage biomass accumulation

Fassola¹, H.E., Lacorte², S.M., Pachas¹, N. y Pezzutti³, R.
INTA EEA, Montecarlo, Bosques del Plata S.A.. INTA CA Zaimán.

Resumen

La acumulación de forraje promedio anual resultante de un período de seis años de observación en un pastizal con predominio de *Axonopus compressus* en el NE de Corrientes, bajo distintas estructuras de dosel de *Pinus taeda* L., fue explicada mediante modelos de regresión, en función del nivel de sombra generado por el estrato arbóreo, siendo esta una expresión de la radiación fotosintéticamente activa disponible para el estrato herbáceo. Mediante una función parabólica fue posible explicar a través del porcentaje de sombra el 98,86% de la acumulación de MS/ha/año de la forrajera. Dicha acumulación promedio anual fue incremental con el aumento del porcentaje de sombra, alcanzando un máximo con un 40%, valor a partir del cual comenzó a decrecer para alcanzar a partir del 70% de sombra un punto crítico en el cual los riesgos de pérdida del pastizal se incrementaron aceleradamente. El empleo del porcentaje de sombra para predecir la acumulación de MS es una herramienta eficiente para la planificación del manejo silvopastoril en el largo y mediano plazo. El conocimiento de la radiación disponible es determinante para manejar niveles máximos y anticipar niveles críticos de acumulación de forraje a la hora de definir manejos silvícolas.

Palabras clave: sombra, modelos, manejo silvopastoril, *Pinus taeda* L., *Axonopus compressus*.

Recibido: agosto de 2005

Aceptado: septiembre de 2006

* Proyecto parcialmente financiado por el Proyecto de Desarrollo Forestal, Convenio SAGYA-BIRF, PIA 28/98 "Manejo Intensivo de *P. taeda*" y por el Proyecto de Ámbito Nacional PAN 437 "Sistemas silvopastoriles en la República Argentina: aspectos básicos del funcionamiento de los sistemas para el desarrollo de tecnologías de instalación y manejo".

1. Ings. Ftal. MBA. Av. El Libertador 2472 (3384) Montecarlo. Misiones. hfassola@ceel.com.ar / npachas@montecarlo.inta.gov.ar

2. Ing.Agr. Msc. INTA CA Zaimán. Ruta 12 km 7,5 (3300) Posadas. intasml@arnet.com.ar

3. Ing. Ftal. Msc. C.C. 34 (3300) Posadas, Misiones. rpétruzzi@cmpc.com.ar

Summary

Mean annual forage biomass, obtained during a six years observation period in grassland with *Axonopus compressus* predominium in the NE of Corrientes, under different canopy structures of *Pinus taeda* L. was explained by regression models, as function of shadow level under tree canopy, considering it as an expression of photosynthetic active radiation. Through a parabolic model it was possible to explain 98.6% of forage DM/ha/year accumulation as function of shadow level. DM accumulation increased with the increment of shadow level percentage, reaching to a maximum when shadow level was 40%, after that it began to decreased and 70% could be considered a critical point in witch the risks of grassland to disappeared became higher. The used of shadow level to predict DM/ha/year accumulation is an efficient tool for long and medium term planning of silvopastoral management. The knowledge of available radiation is useful in determining maximum levels of accumulation and anticipated its critical levels at the time of defining forest management regimes.

Key words: shadow level, models, silvopastoral management, *Pinus taeda*, *Axonopus compressus*.

Introducción

La modelación de sistemas agroforestales está en sus estadios iniciales (Dupraz, 2002). En la región del NE de Corrientes y de Misiones, Fassola (1991), Fassola et al., (1992; 2002) y Allegranza et al. (1997) utilizaron los conceptos desarrollados por Knowles y West (1986) y por Percival y Knowles (1986), en los que mediante la longitud de copa verde era posible estimar los incrementos del rodal resultantes de un tratamiento silvícola dado, fuera éste poda o raleo, como así también la biomasa forrajera que se desarrollaba bajo dosel.

Este enfoque, unidimensional según Dupraz (2002), fue criticado por García (1990), por tal motivo Fassola et al. (2005a) ajustaron un modelo en el que se vinculaba la producción forrajera con el área basal en la sección transversal ubicada por debajo de la copa verde, considerando que la misma está estrechamente vinculada a la biomasa foliar y radicular (Oohata, 1986). Como consecuencia establecieron que, aparte de variables referidas al estado del rodal y al árbol medio, la edad de este era un factor que influía en la producción de biomasa forrajera. De las relaciones establecidas surge que con el aumento de esta se incrementaba la competencia por recursos entre

los estratos considerados, aunque el modelo ajustado tenía la restricción de cubrir un rango acotado de edades.

Respecto al efecto de la radiación o nivel de sombra generado por cubiertas artificiales sobre *Axonopus* spp., es abundante la literatura internacional y nacional referida a él. Pueden citarse los trabajos de Samarakoon et al. (1990) en Australia y los de Lacorte et al. (2004), como también los de Pachas et al. (2004) en Misiones. Si bien Benvenuti y otros (2000) determinaron el efecto de unas pocas estructuras de canopia de *Pinus elliottii* sobre la productividad de *Axonopus compressus*, al igual que en los trabajos anteriores, no es posible vincularlas con las múltiples alternativas que permite el manejo forestal sobre los niveles de radiación o sombra bajo dosel y la biomasa del estrato herbáceo.

El ajuste de funciones que estiman la radiación fotosintéticamente activa (RFA) o el porcentaje de sombra bajo dosel de diferentes estructuras de rodal de *Pinus taeda* L. para la región comprendida entre el NE de Corrientes y Misiones, efectuado por Fassola et al. (2005b), es una herramienta útil para establecer la posibilidad de explicar la acumulación de forraje en función de las mismas.

Con el objetivo de desarrollar modelos adecuados para describir la acumulación de forraje de un pastizal en el NE de Corrientes bajo distintas estructuras de rodal modificadas a través del tiempo por los tratamientos silvícolas aplicados y el crecimiento de los mismos, se procedió a estimar el porcentaje de sombra resultante bajo dosel en los distintos tratamientos de un ensayo silvopastoril y establecer relaciones con la acumulación de forraje resultante.

Materiales y Métodos

Localización del ensayo

El ensayo se realizó en una plantación de *Pinus taeda* L. origen Marion (USA), situada en las cercanías de la localidad de Santo Tomé, Provincia de Corrientes, Argentina (28° 20' S; 56° 01' W). El clima se caracteriza por poseer una temperatura media anual de 21°C, con una mínima absoluta de -2 °C y una máxima de 37 °C, siendo el régimen pluviométrico isohigro. La precipitación media para el período observado fue de 1952 mm, con un máximo de 2660 mm y un mínimo de 1692 mm (Cuadro 1). El relieve es suavemente ondulado, con pendientes menores a 15%, siendo el suelo perteneciente al grupo Kandiudalf (Fernández et al., 1996).

Diseño del ensayo

La plantación de *Pinus taeda* L. se realizó en el año 1993, con un distanciamiento entre líneas de plantación de 3 m y un espaciamiento entre plantas (pl) de 2,4 m arrojando una densidad inicial de 1666 pl/ha, siendo su orientación norte-sur. A los 3 años de edad se instaló en ella un ensayo de poda y raleo siguiendo un diseño sistemático clinal (Alder, 1980; Huxley, 1983). Se conformaron, por raleo, cuatro fajas con distintas densidades (1666; 833; 417 y 208 pl/ha). En cada una de éstas se aplicaron diferentes intensidades de poda: 0; 30; 50 y 70% de remoción de longitud de copa verde, generando subfajas con sentido perpendicular

a las anteriores. A su vez en cada una de estas subfajas se ejecutaron tratamientos de intensidad de poda con 2, 3 y 4 realces o levantes hasta alcanzar la intensidad prefijada, con intervalos de un año entre cada uno de ellos. Cada tratamiento así definido tuvo 5 pseudo-réplicas (Ferrere et al., 1999; Fassola et al., 2002). Anualmente, a partir de los 3 años de edad, en todas las parcelas se midieron los diámetros a la altura del pecho (dap) de todos los árboles. Mediante muestreo en cada repetición de un tratamiento se seleccionaron ejemplares, uno dominante* y dos al azar, a los cuales se les midió la altura total (h) y altura a la base de copa verde (hbcv), estando esta última afectada en los años de observación por la altura del realce de poda o por la mortalidad natural de ramas dada por el nivel de competencia del rodal.

A partir del quinto año de edad, se instalaron fajas rectangulares de cosecha de forraje, con superficies que variaron entre los 40 y 100 m² (5 x 20) en dirección norte-sur con el fin de abarcar diferentes condiciones de estructuras del rodal. Las parcelas fueron dispuestas en los tratamientos silvícolas sin podas con 1666; 833; 417 y 208 pl/ha, a su vez para esas densidades se eligieron los tratamientos de poda con intensidades del 30% y 50% de remoción de la copa verde y 4 realces, mientras que para la intensidad de poda del 70% se seleccionaron sólo los tratamientos con 3 realces (Cuadro 2).

Desde mediados de noviembre de 1997 hasta fines de 2003 se realizaron tres recolecciones de forraje por año, correspondientes al final de las estaciones de primavera, verano y otoño-invierno. A tal efecto se hicieron cortes con tijeras de mano en

* Árbol dominante: árbol de altura media de los 100 ejemplares de mayor diámetro por ha

Cuadro 1: Precipitaciones por año de observación durante el período de ensayo en Santo Tomé, Corrientes (Fuente: INTA AER Sto. Tomé)

Table 1: Precipitations by observation year during essay period in Sto. Tomé, Corrientes

edad del rodal (años)	período de observación (noviembre-octubre)	precipitaciones del período (mm)
5	1997-1998	2660
6	1998-1999	1692
7	1999-2000	1760
8	2000-2001	1870
9	2001-2002	1965
10	2002-2003	1770

Cuadro 2: Tratamientos silvícolas aplicados a Pinus taeda en las parcelas de cosecha de pastizal en el NE de Corrientes.

Table 2: Silvicultural treatments applied to Pinus taeda in grassland harvest plots in the NE of Corrientes.

Densidad (pl/ha)	intensidad de poda (%)	realces de poda (n°)	repeticiones n°	repeticiones c/cosecha pastizal (n° fajas)	sup. repetición (m ²)
	0		5	3	
1667	30- 50	4	5	3 - 3	100
	70	3	5	3	
833	0		5	3	200
	30- 50	4	5	3 - 3	
417	0		5	3	350
	30- 50	4	5	3 - 3	
	0		5	1	
208	30- 50	4	5	1 - 1	550
	70	3	5	1	

parcelas al azar dentro de cada faja, con un marco de 0,25 m² a 10 cm de altura. El número de muestras en cada una de ellas osciló entre 10 y 20 según la variabilidad de manera de que el error de muestreo fuera inferior al 10%. Dado que la empresa forestal dueña de la propiedad no permitió el ingreso de animales a la plantación, la uniformización del área experimental, una vez finalizado el muestreo, se realizó mediante un corte de emparejamiento con segadora (t' Mannelje, 1982).

En bolsas adecuadamente rotuladas cada muestra fue transportada al laboratorio donde se identificaron las especies presentes, obteniéndose el peso del material verde de cada fracción (Material forrajero por especie, Material muerto, Malezas, Acículas). Una vez separada cada fracción, se extrajo una alícuota de cada una de ellas con las cuales se constituyó una muestra integrada sobre la cual se determinó peso de la materia seca (MS) llevándolas a estufa (70 °C) hasta alcanzar peso constante.

Procesamiento de la información

La información obtenida anualmente en cada medición de las parcelas silvopastoriles, fue procesada (Keck et al., 1999) obteniéndose los valores por hectárea de área basal (G), diámetro promedio (DAP), altura media (H), como también la sumatoria de las longitudes de copa verde (Lcv) y el largo de copa relativo (LCR), determinado por la relación entre el largo de copa promedio y la altura media, ambas como expresiones de la biomasa foliar del rodal a consecuencia de la densidad del mismo y los tratamientos silvícolas aplicados.

La información correspondiente al estrato herbáceo fue tabulada de forma de poder identificar aquellas parcelas donde *A. compressus* era la especie predominante del pastizal, tomando como criterio que la participación de esta especie fuera del 70% o más de la MS (Ferrere et al., 1999; Fassola et al., 2002). Como resultado de este proceso de las 34 parcelas instaladas, al quinto año se utilizaron en el procesamiento 16, las que en los años siguientes se fueron reduciendo por desaparición del tapiz herbáceo.

Estimación de los niveles de sombra bajo distintas estructuras de dosel

Para estimar el porcentaje de sombra bajo dosel, respecto de condiciones de plena radiación a cielo abierto, se utilizó un modelo de predicción del nivel de sombra en función de variables de rodal de *Pinus taeda* L. (Ecuación -Ec.- 1) para la región del NE de Corrientes y Misiones, ajustado por Fassola et al. (2005b).

(Ec. 1)

$$Sombra(\%) = \frac{1}{1,00775 + \frac{10,9104}{Lcv * G}} * 100$$

Donde:

Lcv: longitud de copa verde (km/ha)

G: área basal (m²/ha)

Efectuada la estimación de las variables forestales de cada parcela por año de observación, con posterioridad se les asignó los respectivos resultados de la cosecha del pastizal acumulado y se estimaron los niveles de sombra correspondiente a cada una de ellas (Cuadro 3).

Análisis Estadístico

La base de datos generada fue empleada para el ajuste de modelos de regresión para la estimación de la acumulación de biomasa forrajera del pastizal en función de las condiciones de sombra mediante el software estadístico Infostat (2002).

Resultados y discusión

Es de destacar que como resultado de aplicar la función de estimación de porcentaje de sombra surgió que, si bien se realizaron observaciones en un amplio rango de niveles de esta, tuvieron mayor número de observaciones las situaciones con alto porcentaje de sombra (Cuadro 3). Aunque ello indica un desbalance de muestras de biomasa forrajera, este hecho - predecible - era inevitable dada la natural evolución del estrato arbóreo.

En la Cuadro 4 pueden observarse los valores promedio, máximos, mínimos, el desvío estándar y el número de observaciones para las variables de estado de rodal, biomasa forrajera de *A. compressus* y niveles de sombra bajo dosel de *P. taeda*. Mientras que en la Figura 1 se presenta para el período analizado, la acumulación de biomasa forrajera observada por ciclo productivo y según la situación de sombra en la cual se desarrolló.

La Figura 1 refleja que la disposición del conjunto de observaciones adoptó forma parabólica, incrementándose la biomasa a medida que las condiciones de sombra aumentaron, alcanzando un máximo, para luego descender y ser casi nula con altos porcentajes de sombra. Paralelamente se

Cuadro 3: Número de muestras de biomasa de *Axonopus compressus* por niveles de sombra generados por la canopia de *Pinus taeda* en los distintos períodos de observación

Table 3: Samples number of *Axonopus compressus* biomass by shadow levels of *Pinus taeda* during the observation periods.

Sombra %	obs./año n	Edad del Rodal					
		5	6	7	8	9	10
<de 20	3	-----	2	1	-----	-----	-----
20 a 29	4	2	1	1	-----	-----	-----
30 a 39	3	1	-----	1	1	-----	-----
40 a 49	6	-----	3	-----	2	1	-----
50 a 59	9	2	1	3	-----	2	1
60 a 69	10	4	3	1	-----	-----	2
70 a 79	15	3	3	3	4	1	1
80 a 89	15	3	4	2	-----	3	3
90 a 99	8	1	1	2	4	-----	-----
Total	73						

Cuadro 4: Valores promedio, máximos, mínimos, desvío estándar y número de observaciones para las variables de estado de rodal, biomasa forrajera de *Axonopus compressus* y niveles de sombra bajo dosel de *Pinus taeda*

Table 4: Mean, maximum, minimum, standard deviation and number of observations for state variables of stand, *Axonopus compressus* forage biomass and shadow level under *Pinus taeda* canopy.

	Edad (años)	Biomasa forrajera kg MS/ha	DAP cm	H m	Densidad pl/ha	G m ² /ha	Lcv km/ha	sombra %
promedio	7	1939	20	12	462	13	3	66%
máximo	10	4201	38	18	835	30	6	93%
mínimo	5	14	13	8	157	2	0	7%
desvío	2	1207	5	3	247	6	1	22%

N: total de observaciones 73

DAP: diámetro 1,3 m; H: altura; G: área basal; Lcv: sumatoria de las longitudes de copa verde/ha

observó una alta dispersión de valores de biomasa forrajera para similares condiciones de sombra, especialmente en los tres primeros años de observación, situación planteada también por Knowles et al. (1986) en *P. radiata* con rodales de similares estructuras de canopia y de edades bajas. Fassola et al. (2002; 2005a) también trabajando con la estructura de canopia de *Pinus taeda* L. y *Axonopus compressus* observaron el mismo comportamiento.

A los fines de identificar el patrón de evolución que adoptaba la acumulación de biomasa forrajera en función del porcentaje de sombra por año de observación, considerado como la edad del rodal, se procedió a ajustar modelos individuales para cada uno de ellos. De los modelos utilizados los que mejor ajuste brindaron fueron polinomios de segundo grado. Comparados los valores de los coeficientes, interceptos y pendientes, de los modelos ajustados en función de

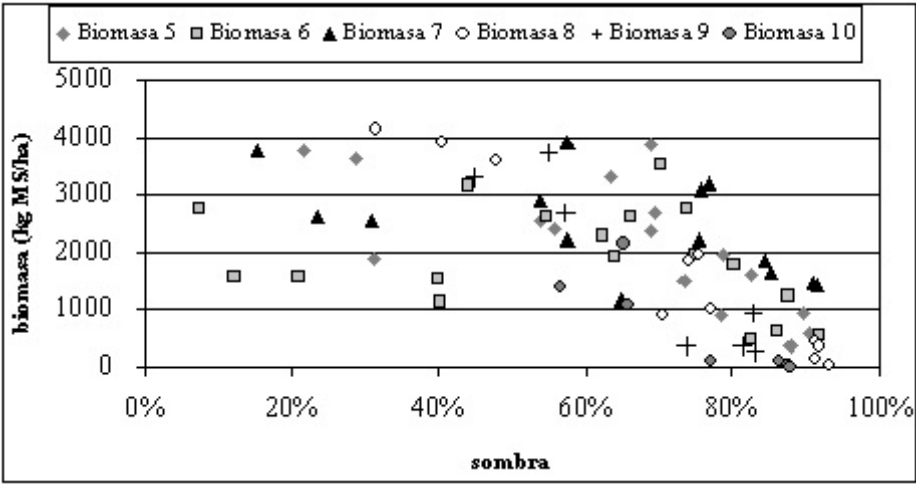


Figura 1: Biomasa de *Axonopus compressus* bajo dosel de *Pinus taeda* por período de observación (determinado por edad del rodal) en función del porcentaje de sombra.
Figure 1: *Axonopus compressus* biomass under *Pinus taeda* canopy by observation period (determined by stand age) as function of shadow percentage

variables de estructura del rodal y de las precipitaciones anuales pudo observarse que estos no arrojaron clase alguna de ordenamiento (Fassola et al., 2005a) (Cuadro 5). En base a ello se pudo inferir que en la acumulación de biomasa forrajera de cada ciclo intervinieron factores no observados, como podrían ser las condiciones microclimáticas generadas en cada tratamiento (Dupraz, 2002), los cuales para similares

niveles de sombra podrían haber provocado las variaciones observadas entre años bajo análisis.

Dada la imposibilidad de analizar las causas de la variación entre períodos y la variación dentro de un mismo año de observación, se optó por estimar la media de producción de biomasa forrajera por clases de sombra del período bajo estudio, de acuerdo con los rangos especificados en el

Cuadro 5: Coeficientes de los polinomios de segundo grado de la biomasa forrajera por año de observación de *Axonopus compressus* en función al porcentaje de sombra determinado por la canopia de *Pinus taeda*.

Table 5: Second degree polynomial coefficients of *Axonopus compressus* as function of shadow percentage determined by *Pinus taeda* canopy.

edad del rodal (años)	intercepto	sombra (%)	sombra ² (%)	Pp período (mm)
5	1992,3	6928,3	-9306,8	2660
6	1268,6	5603,2	-6518	1692
7	2950,9	1333,1	-3019,3	1760
8	6148,1	-5376,2	-1174,4	1870
9	6118,1	-3551,2	-4165,8	1965
10	1683,4	3415,3	-6144	1770

Cuadro 3. Con esta información fue ajustado un polinomio de segundo grado, cuya expresión (Ec. 2) y estadísticos (Cuadro 6) se detallan a continuación:

con valores cercanos a las 3 tn MS/ha/año, aunque manteniéndose en niveles similares con valores de sombra entre el 30% y el 50%. Si bien con un 70% de sombra la

$$\text{Biomasa forrajera (kg.MS / ha)} = 1676,83 + 63,6665 * \text{sombra} - 0,818176 * \text{sombra}^2 \quad (\text{Ec. 2})$$

Cuadro 6: Coeficientes y estadísticos del modelo de predicción de la biomasa anual promedio de *Axonopus compressus* bajo distintos niveles de sombra determinados por la canopia de *Pinus taeda*
Table 6: Coefficients and statistics of *Axonopus compressus* mean annual biomass prediction model under different levels of shadow determined by *Pinus taeda* canopy.

parámetro	coeficiente	error estándar	F	valor-P
constante	1676,83	127,80	13,1207	0,00001
sombra	63,6665	5,714080	11,1420	0,00001
sombra ²	-0,818176	0,054077	-15,1299	0,00001

El análisis de la varianza arrojó como resultado que el ajuste del modelo fue altamente significativo ($p < 0,01$), con un coeficiente de determinación (R^2) del 98,86%, siendo el error estándar del estimador 97,89 kg MS/ha y el error absoluto promedio de 62,64 kg Ms/ha. En la Figura 2 se presenta la curva del modelo ajustado con sus límites de confianza y con los desvíos de las medias para cada rango de sombra.

El ajuste logrado al relacionar la acumulación de MS/ha/año en función del porcentaje de sombra bajo dosel permite coincidir con Bellow y Nair (2003) en que el conocimiento de la radiación disponible es de vital importancia para manejar y anticipar niveles críticos para la producción forrajera a la hora de definir la intensidad y oportunidad del manejo silvícola a través de prácticas de raleo y/o poda.

La forma parabólica adoptada por las medias anuales de acumulación de MS forrajera bajo distintas estructuras de dosel (Figura 2) se asemejó a la obtenida en un ensayo con *Axonopus catarinensis* efectuado por Pachas et al. (2004). Pudo observarse también que la acumulación anual promedio de MS forrajera del período analizado tendió a hacerse máxima con un 40% de sombra

acumulación se aproximó a las 2 tn de MS/ha/año, el límite inferior de confianza del modelo en ese rango, o superiores, indica que el manejo silvopastoril presenta a partir del mismo un alto riesgo, dado que la MS acumulada puede ser exigua o el estrato herbáceo podría desaparecer. Con altos niveles de sombra las decisiones de manejo del sistema dependerán del deseo de obtener mayor producción forestal o bien mantener una cubierta herbácea mínima como para evitar implantarla nuevamente al momento de la tala rasa e inicio de un nuevo ciclo productivo. Si bien Benvenuti et al. (2000) al evaluar *Axonopus compressus* Rauh bajo dosel de *Pinus elliottii* establecen como máximo un valor próximo al 50% de sombra para la "producción aceptable de forraje", puede considerarse en base a este trabajo y otros, que con porcentajes de sombra del 55 a 65% la acumulación de MS forrajera de *Axonopus compressus* es similar a la que se obtendría con porcentajes de sombra del 10 al 30% (Figura 2). Por lo tanto siendo este un sistema productivo, el mismo no puede ser unidireccional, ya que para los niveles de sombra mencionados, el efecto sobre el componente forestal y los productos a obtener será totalmente diferenciado.

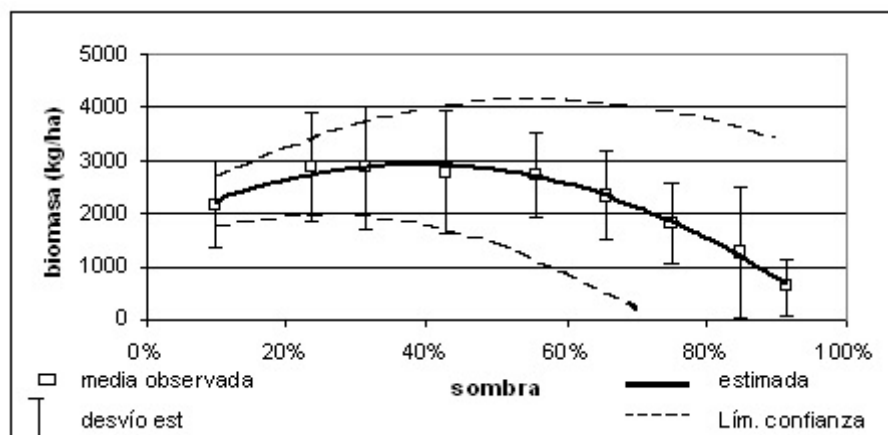


Figura 2: Acumulación promedio anual de biomasa forrajera de un pastizal con predominio de *Axonopus compressus*, estimada y observada, bajo distintos niveles de sombra de rodales de *Pinus taeda*, en el NE de Corrientes.

Figure 2: Annual mean accumulation of *Axonopus compressus* grassland forage biomass, estimated and observed, under different levels of shadow in *Pinus taeda* stands in the NE of Corrientes.

El análisis de los resultados obtenidos con *Axonopus compressus* bajo cubierta plástica por Lacorte et al. (2004) y con *Axonopus catarinensis* por Pachas et al. (2004), coinciden en que la mayor acumulación de MS se obtuvo con el 50% de sombra, aunque hasta un 65% fue superior a la de cielo abierto, permite inferir que el modelo ajustado refleja adecuadamente la realidad.

Samarakoon et al. (1990) trabajando con *A. compressus* bajo sombra plástica obtuvieron un incremento en la producción del 68% respecto de la de cielo abierto y si se estima el máximo diferencial logrado por Benvenuti et al. (2000) con la misma especie bajo dosel de *P. elliottii*, este resulta en un 70% superior respecto de la condición sin sombra. Considerando que la estimación de la MS forrajera de *A. compressus* acumulada a cielo abierto que surgiría de la proyección de la Ec 2 arroja un valor de 1677 kg MS/ha/año, cercano al estimado por Lacorte y Goldfarb (1996) en un pastizal a cielo abierto en cercanías de Posadas durante cinco ciclos productivos (1550 ± 284 kg

MS/ha/año sin considerar especies poco palatables), el diferencial de acumulación máximo en el caso bajo estudio sería del 74%. Esta estimación se encontraría dentro de los valores alcanzados por los autores anteriormente mencionados. Si bien no puede entenderse esta apreciación como una validación del modelo o una prueba de consistencia del mismo, para lo cual se requería una muestra independiente con datos no empleados en la construcción de este, que por no ser amplia la base de datos debió ser desechada (Vanclay, 1994), puede considerársela como un indicativo de un nivel de predicción adecuado.

Sin embargo, atendiendo a que Lacorte y Goldfarb (1996) determinaron una acumulación promedio de 2444 kg Ms/ha/año, si se incluyeran todas las especies presentes en el pastizal por ellos estudiado, aún las de bajo valor forrajero, como también a los estudios de Ferrere et al. (1999), sobre la dinámica del pastizal bajo dosel de *P. taeda*, podría afirmarse que el diferencial del 74% estimado entre cielo abierto y el nivel de sombra

donde se alcanzó el máximo de acumulación anual de *Axonopus compressus* no es totalmente atribuible a un incremento de la productividad. Una proporción se correspondería al desplazamiento de especies no forrajeras por parte de *A. compressus* y otra con un real incremento de la productividad del pastizal.

Conclusiones

La acumulación de forraje promedio anual de un período de observación de seis años en un pastizal con predominio de *Axonopus compressus*, obtenida bajo distintas estructuras de dosel de *Pinus taeda* L., estuvo estrechamente relacionada al nivel de intercepción de la radiación fotosintéticamente activa por la canopia del estrato arbóreo, expresada por la sombra que proyecta sobre el estrato herbáceo.

La intercepción de la radiación fotosintéticamente activa por el dosel de *Pinus taeda* L. promovió un incremento de la acumulación promedio anual de MS forrajera de *Axonopus compressus* que se hizo máximo con un 40% de sombra para descender luego hasta alcanzar niveles críticos para la continuidad del pastizal a partir de un 70% de sombra.

Sin embargo al pretender analizar la acumulación de MS forrajera anual esta variable sólo explicó parcialmente el comportamiento del pastizal, ya para similares condiciones de sombra se determinó una variación apreciable en los valores de acumulación. Similar repuesta se evidenció para un mismo porcentaje de sombra en diferentes años de observación.

Puede afirmarse que la estimación de la acumulación promedio anual de MS forrajera de *Axonopus compressus* en función del porcentaje de sombra que genera el dosel de *Pinus taeda* L. es adecuada para la planificación en el largo y mediano plazo de las actividades silvopastoriles. La posibilidad de interpretar el efecto de la intensidad y oportunidad de raleos y podas sobre las condi-

ciones de sombra y el de esta sobre la acumulación de MS forrajera es un elemento de fundamental importancia en la toma de decisiones relacionadas con el manejo de estos sistemas productivos.

Sin embargo la estimación de los procesos de acumulación de MS forrajera en el corto plazo deberá contemplar otros aspectos más complejos como la disponibilidad de recursos para ambos estratos y las condiciones microclimáticas que se generan bajo distintas estructuras del dosel.

Bibliografía

- Alder, D. 1980. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento. Vol. 2 Predicción del rendimiento. Estudio FAO: Montes 22/2. Roma, 80 p.
- Alegranza, D., Torres, E., Reboratti, H. y Fassola, H. 1997. Efecto de la densidad del *Pinus caribaea* var. *Caribaea* sobre la oferta forrajera. Actas del II Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano, Posadas. Informe INTA. EEA Montecarlo. Técnico N° 18. Pp 10.
- Bellow, J.G. y Nair, P. 2003. Comparing common methods for assessing under story light availability in shaded-perennial agro forestry system. In: Agricultural and forest meteorology. 114, 197-211.
- Benvenuti, M., Pavetti, D., Correa, M. y Pérego, J. 2000. Evaluación de especies forrajeras gramíneas en distintos niveles de iluminación bajo monte forestal de pino para uso en sistemas foresto ganaderos. Inf. Tecn. N° 70. INTA EEA Cerro Azul. pp. 18
- Dupraz, Ch. (Ed.). 2002. Tree-crops interaction model. State of the art report. Deliverable 1.1.1 of the SAFE Europeans Research Contract. QLK5-CT-2001- 00560. Pp 32
- Fassola, H.E. 1991. Regímenes silvícolas con producción de madera libre de nudos en *P. elliottii*, en la zona central de corrientes. 1er. inf. de avance: el control del diámetro sobre muñones en 15 cm. resumen. 1^{AS} Jornadas sobre Inventario y Modelos de Producción. Fac. Cs. Ftales. UNaM.
- Fassola, H.E. 1992. Regímenes silvícolas con producción de madera libre de nudos en *P. elliottii*, en la Zona Central de Corrientes. 1er. inf. de avance: el control del diámetro sobre muñones en 15 cm. ivyraréta n° 3. Fac. Cs.

- Ftales. UNAM
- Fassola, H.E., Ferrere, P., Lacorte, S.M. y Rodríguez, F. 2002. Predicción de la producción de un pastizal bajo distintas estructuras de canopia de *Pinus taeda* L. en el Noreste de Corrientes, Argentina. *RIA*, 31 (2): 73-96.
- Fassola, H.E., Pachas, N. y Lacorte, S.M. 2005a. Factores que influyen la producción de biomasa forrajera de *Axonopus jesuiticus*, bajo dosel de *Pinus taeda* L. en el Nordeste de Corrientes. *RIA* 34 (3): 21-38. INTA, Argentina
- Fassola, H.E., Pachas, N. y Lacorte, S.M. 2005b. Estimación de la radiación fotosintéticamente activa (PAR) y niveles de sombra bajo dosel de *Pinus taeda* en la Provincia de Misiones y NE de Corrientes. Trabajo presentado en el 3er Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano. AFOA. Corrientes. Setiembre 2005. 8 pp.
- Fernández, R., Phar, N. y Lupi, A. 1996. Evaluación de crecimiento de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden en diferentes condiciones de sitio del nordeste argentino. Actas del XIII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Disco Compacto. Aguas De Lindoia, San Pablo.
- Ferrere, P., Fassola, H.E., Lacorte, S.M. y Allegranza, D. 1999. Producción forrajera de un pastizal bajo distintos grados de cobertura del dosel en una plantación de *Pinus taeda* L. Inédito. Informe Final PIA 20/96. INTA EEA Montecarlo, 11p.
- García, O. 1990. Growth of thinned and pruned stands. In: James, R., y Tarlton, G.L. (Eds.), New approaches to spacing and thinning in Plantation Forestry: Proceedings of an IUFRO Symposium, Rotorua, New Zeland, 10-14 April 1989. Ministry of Forestry, FRI Bulletin n.151, p.84-97.
- Huxley, P.A. 1983 a. Methodology for the exploration and assessment of multipurpose trees. Section Four. Part. 4E. Plant spacing. Nairobi. International Council for Research in Agroforestry.
- InfoStat. 2002. InfoStat versión 1.1. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Keck, A., Fassola, H.E., Crechi, E., y Ferrere, P. 1999. Sistema de Procesamiento de Datos de Parcelas Experimentales e Inventario. Versión 1.0. INTA EEA Montecarlo.
- Knowles, R.L. and West, G.G. 1986. The use of crown length to predict the effects of pruning and thinning in *Pinus Radiata*. Crown and canopy structure in relation to productivity. IUFRO. Edited by Fujimori T. And Withehead D. Forestry and Forest products Research Institute, Ibaraki, Japan:104-117.
- Lacorte, S.M. y Goldfarb, M.C. 1996. Evaluación agronómica de un pastizal nativo del Sur de Misiones. *Misceláneas* N° 34. INTA EEA Cerro Azul. Pp. 16.
- Lacorte, S.M., Fassola, H.E., Pachas, N. y Colcombet L., L. 2004. Efecto de diferentes grados de sombreado, con y sin fertilización fosfórica, sobre la producción de un pastizal modificado con predominio de *Axonopus compressus* en el sur de Misiones, Argentina. 11 Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales. INTA FCF. Eldorado. Disponible en CD. 9 p.
- Mannetje, L. 't. 1982. Measuring quantity of grassland vegetation. In: Measurement of grassland vegetation and animal production. Edited by L't Mannetje, Commonwealth Agricultural Bureaux. Farnham Royal. Reprinted, 1982, p 63- 95.
- Oohata, S. 1986. Some Quantitative analyses of tree form: further extensions to the pipe model theory. Crown and Canopy Structure in relation to Productivity. Ed. By T. Fujimori and D. Withehead. Forestry and Forest Products Research Institute, Ibaraki, Japan. IUFRO. Pp 159-171.
- Pachas, N., Keller, A., Fassola, H.E., Lacorte, S.M. y Pinazo, M. 2004. Producción, morfología y calidad nutritiva de *Axonopus catarinensis* Valls bajo diferentes condiciones lumínicas e hídricas. 11 Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales. INTA FCF. Eldorado. Disponible en CD. 6 p.
- Percival, N.S. and Knowles, R.L. 1986. Relationship between *Radiata* pine and understory pasture production. Agroforestry Symposium Proceedings. Forest Research Institute. Pp. 152-160.
- Samarakoon, SP., Wilson, J.R., Shelton, H.M. 1990. Growth, morphology and nutritive quality of shaded *Stenotaphrum secundatum*, *Axonopus compressus* and *Pennisetum clandestinum*. *Journal of Agricultural Science*, 114, 161-169
- Vanclay, J. 1994. Model evaluation and Recalibration. En: Modelling Forest Growth and Yield. Applications to mixed Tropical Forest. CAB International. Pp. 204-221.