

ESTIMACIÓN DE BIOMASA Y PRODUCTIVIDAD DE CHAÑAR MEDIANTE TELEDETECCIÓN Y MODELOS DE SIMULACIÓN

ECHEVERRÍA J.C.¹., COLLADO A.D.². Y GIULIETTI J.D.³
Estación Experimental Agropecuaria San Luis, I.N.T.A.

RESUMEN

Para cuantificar la superficie ocupada por *Geoffroea decorticans* (Gill. ex Hook. et Arn.) Burk. y estimar sus principales parámetros productivos en el este de San Luis y oeste de Córdoba, se seleccionaron 1.16 millones de hectáreas del área medanosa con pastizales e isletas de chañar. Se obtuvo un mapa de las áreas ocupadas por esta especie, caldén y lagunas, procesando una imagen Landsat Thematic Mapper correspondiente a enero de 1998. Se cuantificaron 130.861 ha (11.26 %) con chañar, 43.249 ha (3.72 %) con caldén y 3.251 ha (0.28 %) con lagunas o bajos anegados. Se calcularon las características productivas del chañar. La edad promedio de las plantas fue 9.38 años, el diámetro de los fustes 4.90 cm y la densidad 7.947 plantas.ha⁻¹. La productividad varió de 167.732 a 200.719 tn MS.año⁻¹ (460 y 550 tn MS.día⁻¹). La biomasa acumulada en la región fue de 2,77 a 3,14 millones de tn MS (21,14 a 23,98 tn MS.ha⁻¹). Los resultados obtenidos son los únicos estimados para la región y deben considerarse orientativos. Debido a que la producción acumulada y la productividad fueron relativamente elevadas, se sugiere estudiar la factibilidad de uso industrial de la especie

Palabras clave: *Geoffroea decorticans* - Teledetección - Modelación - Biomasa - Productividad .

ESTIMATE OF BIOMASS AND PRODUCTIVITY OF CHAÑAR BY MEANS OF REMOTE SENSING AND SIMULATION MODELS

SUMMARY

To quantify the surface occupied by *Geoffroea decorticans* (Gill. ex Hook. et Arn.) Burk. and to estimate its main productive parameters in the east of San Luis and west of Córdoba provinces, 1.16 millions of hectares of the sandy area with rangeland and chañar groves was selected. A map of the occupied areas by this species, caldén and lagoons was obtained, processing an image Landsat Thematic Mapper corresponding to January of 1998. 130.861 ha (11.26%) were occupied by chañar, 43.249 ha (3.72%) by caldén and 3.251 ha (0.28%) by lagoons or flooded areas. The productive characteristics of chañar were estimated. The age average of the plants was 9.38 years, the diameter of the shafts 4.90 cm and the density 7.947 plantas.ha⁻¹. The productivity varied from 167.732 to 200.719 tn MS.año⁻¹ (460 and 550 tn MS.día⁻¹). The biomass accumulated in the region range from 2,77 to 3,14 million tn MS and 21,14 to 23,98 tn MS.ha⁻¹. These results are the only ones estimated for the region and should be considered approximates. Due to relatively high accumulated production and the productivity, it is suggested to analyze the feasibility of industrial usage of the species.

Key words: *Geoffroea decorticans*-Remote sensing-Modelling-Biomass-Productivity.

¹ Ing. Agr. M.C. E-mail: jecheverría@sanluis.inta.gov.ar

² Ing. Agr. Dr. E-mail: dcollado@sanluis.inta.gov.ar

³ Ing. Agr. E-mail: jgiulietti@sanluis.inta.gov.ar

INTRODUCCIÓN

El chañar en el sur-este de San Luis y oeste de Córdoba se comporta como invasora (Anderson, 1976), especialmente de los pastizales naturales más degradados, reduciendo la productividad forrajera (Anderson 1976; Vera 1977; Delamer 1977; Molinero y otros 1987) y ganadera de la región (Vera 1977). Los esfuerzos humanos y económicos para combatirlo no han logrado ser, en muchas ocasiones, económicamente rentables.

Actualmente, se relaciona a la especie con los perjuicios que ocasiona, sin considerarla un recurso importante, aunque brinda diferentes productos. La extracción de su biomasa se realiza con el principal propósito de reincorporar las tierras a los sistemas ganaderos o mixtos, con un costo económico y social relativamente alto.

La concepción de que la biomasa de chañar podría tener usos industriales, no ha sido debidamente desarrollada. Su industrialización, podría tener aspectos positivos, complementarios y sinérgicos, obteniendo ventajas productivas (ganadera y forestal), económicas y ecológicas (reducción de áreas sobrepastoreadas contribuyendo al uso sustentable de los agroecosistemas).

El mayor conocimiento de las posibilidades del ecosistema, permitirá mejorar la toma de decisiones sobre el manejo del monte y aplicar los conceptos de uso múltiple del territorio.

El objetivo del trabajo consistió en cuantificar la superficie ocupada por *Geoffroea decorticans* (Gill. ex Hook. et Arn.) Burk. y estimar los principales parámetros productivos, sobre un sector representativo del área total invadida.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en dos etapas. En la primera, se confeccionó la cartografía y cuantificó la superficie invadida por chañar. En la segunda, a partir de los resultados obtenidos en la etapa previa, se calcularon diversos estimadores productivos aplicando posteriormente diferentes modelos estadísticos tomados de la bibliografía.

Para confeccionar el mapa de las isletas se utilizó una imagen Landsat Thematic Mapper correspondiente a enero de 1998, sobre la cual se delimitó el área de estudio, comprendida al oeste por el límite de la imagen (desde los 33° 49' 59" S y 65° 44' 27" O hasta los 35° 01' 56" S y 66° 05' 45" O), al norte y al sur hasta los límites aproximados del caldenal (33° 49' 59" S y 35° 01' 56" S, respectivamente) y al este incursionando 12.5 km en territorio cordobés (64° 58' O, aproximadamente).

La identificación de las coberturas se obtuvo mediante una clasificación supervisada aplicando el método del paralelepípedo, utilizando el Sistema de Información Geográfica Idrisi (Clark Labs, 1999).

Mediante el análisis de componentes principales se seleccionaron tres que sintetizaron la mayor información original, a efectos de eliminar la información redundante, y se utilizaron como bandas para la clasificación. Se consideraron además, en el análisis, dos imágenes adicionales, derivadas de un índice de vegetación de diferencia normalizada (Normalized Difference Vegetation Index -NDVI-) y del cociente entre las bandas 4 (infrarrojo cercano) y 5 (infrarrojo medio). Esta metodología permitió una diferenciación satisfactoria entre chañar, caldén y agua que fueron las

coberturas discriminadas. Posteriormente se determinaron las superficies para cada una de esas categorías temáticas.

En el interior de las isletas se delimitaron cuatro franjas perimetrales concéntricas, a partir de los bordes de las mismas de 33 m (coincidente con el tamaño del pixel), 66, 99 y superiores, respectivamente.

Se calcularon los siguientes estimadores de la población: edad (años), superficie (ha), biomasa total de la región o ventana de estudio (tn), biomasa por unidad de superficie ($\text{tn}\cdot\text{ha}^{-1}$), productividad total ($\text{tn}\cdot\text{año}^{-1}$), productividad ($\text{tn}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$), diámetro medio de la base del fuste (cm) y densidad media ($\text{plantas}\cdot\text{ha}^{-1}$), para la población total y para cada franja en que se subdividieron las isletas.

Las características de las plantas ubicadas a diferentes distancias del borde de las mismas se estimaron utilizando las ecuaciones desarrolladas por Molinero y otros (1986; 1987), a partir de transectas de 93 y 105 m de longitud.

Con el objetivo de cuantificar la magnitud de probables errores en las estimaciones, la biomasa por planta se calculó de dos modos diferentes, ambos basados en trabajos realizados en isletas de la misma región. En el primer caso se utilizaron las ecuaciones que predicen la biomasa total de cada planta a partir de la superficie de corte de los fustes en su base (Molinero y otros 1986):

$$\text{Plantas menores de 2.5 cm de diámetro basal: } Y = 0.06489 X + 0.11835$$

$$\text{Plantas de 2.5 a 5.0 cm de diámetro basal: } Y = 0.16233 X - 0.04833$$

$$\text{Plantas de 5.0 a 7.5 cm de diámetro basal: } Y = 0.23358 X - 0.47385$$

$$\text{Plantas mayores de 7.5 cm de diámetro basal: } Y = 0.35067 X - 7.61080$$

donde $Y = \text{kgMS}\cdot\text{planta}^{-1}$; $X = \text{superficie del fuste (cm}^2\text{)}$

En el segundo caso, se adoptó la ecuación descripta por Molinero y otros (1987) que predice esta variable a partir de la posición de la planta en la isleta, independientemente de su tamaño, siendo su expresión:

$$Y = 0.00489 X^2 - 0.31856$$

donde $Y = \text{kgMS}\cdot\text{planta}^{-1}$; $X = \text{distancia desde el borde de la isleta hasta la planta (m)}$

El diámetro del fuste se calculó con la ecuación citada por Molinero y otros (1987), que utiliza como variable independiente, al igual que el caso anterior, la distancia de la planta al borde de la isleta:

$$Y = 0.14764 X + 0.19606$$

donde $Y = \text{diámetro de la base del fuste (cm)}$; $X = \text{distancia de la planta al borde de la isleta (m)}$.

Para calcular la densidad de plantas se utilizó la ecuación de cuarto orden de Molinero y otros (1987), que representa las variaciones cíclicas observadas a lo largo del radio de una isleta. Estas oscilaciones se atribuyeron a posibles variaciones en las condiciones climáticas imperantes durante el crecimiento y desarrollo de la misma.

La citada ecuación presenta el inconveniente de predecir densidades negativas a partir de los 80 m del borde, por esta razón se utilizaron los valores por ella predichos para calcular los parámetros de una ecuación logarítmica, finalmente utilizada para estimar la densidad (Fig. 1).

$$Y = -41,812 \ln(X) + 205,72$$

donde $Y = \text{cantidad de plantas cada } 100 \text{ m}^2$; $X = \text{distancia al borde de la isleta (m)}$.

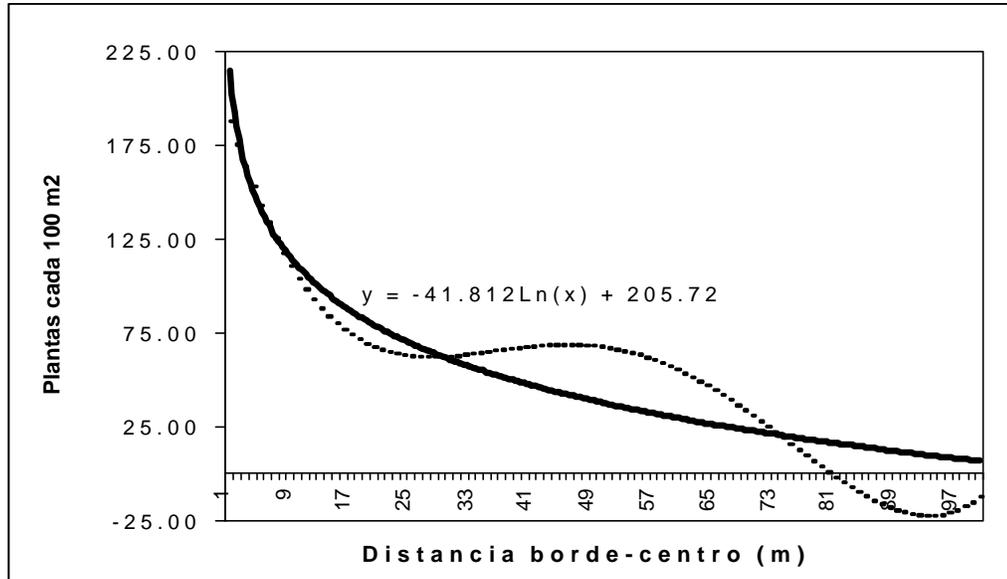


Fig. 1: Densidad de plantas en función de la distancia al borde de una isleta. En línea punteada la ecuación de Molinero y otros (1987), en línea llena la utilizada en este trabajo

La biomasa por unidad de superficie se calculó como el producto entre la biomasa por planta y la densidad a igual distancia del borde de la isleta.

La biomasa total de la primer franja (1 m de ancho por 33 m de longitud) se calculó como la sumatoria de las biomásas a cada distancia (X) del borde (X: 0, 1, 2, ..., 33). La biomasa media de la franja fue igual a la sumatoria citada, dividido por la superficie de la transecta (33 m²). Las restantes franjas se calcularon del mismo modo.

Para calcular la productividad se utilizó la edad del individuo más antiguo y para franjas mayores de 99 m se consideró la de los individuos a los 100 m del borde.

La edad de las plantas se estimó como el cociente entre la distancia al borde (m) y el incremento del radio de la isleta (m/año). Para el denominador de esta relación se adoptó 3.4 m/año, (Echeverría y Molinero, 1991), asignándolo como supuesto del modelo para todas las isletas de la región.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la zona analizada de 1.162.320 ha, fueron cuantificadas 130.861 ha (11,26 %) de chañar (Fig. 2), 43.249 ha (3,72 %) de caldén y 3.251 ha (0,28 %) de lagunas o bajos anegados. La superficie remanente (984.959 ha) correspondió a otras coberturas sin presencia de monte, no tipificadas .

Las diferentes franjas en que se dividieron las isletas se ejemplifican en la Fig. 3, habiéndose determinado que las áreas de 0 a 33 m poseen una edad de 9,7 años, debiéndose resaltar la alta proporción de isletas en esta categoría (originadas teóricamente en ese período).

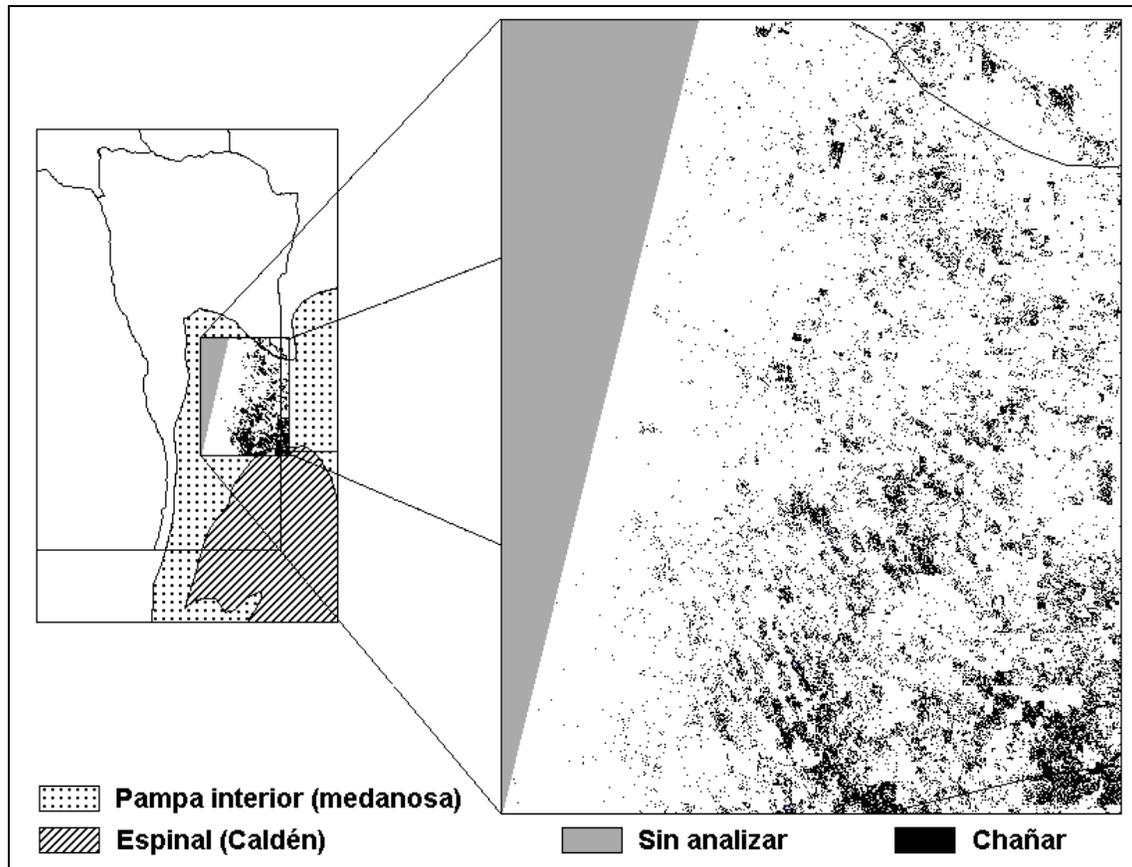


Fig. 2: Ubicación del área de estudio y disposición espacial del chañar

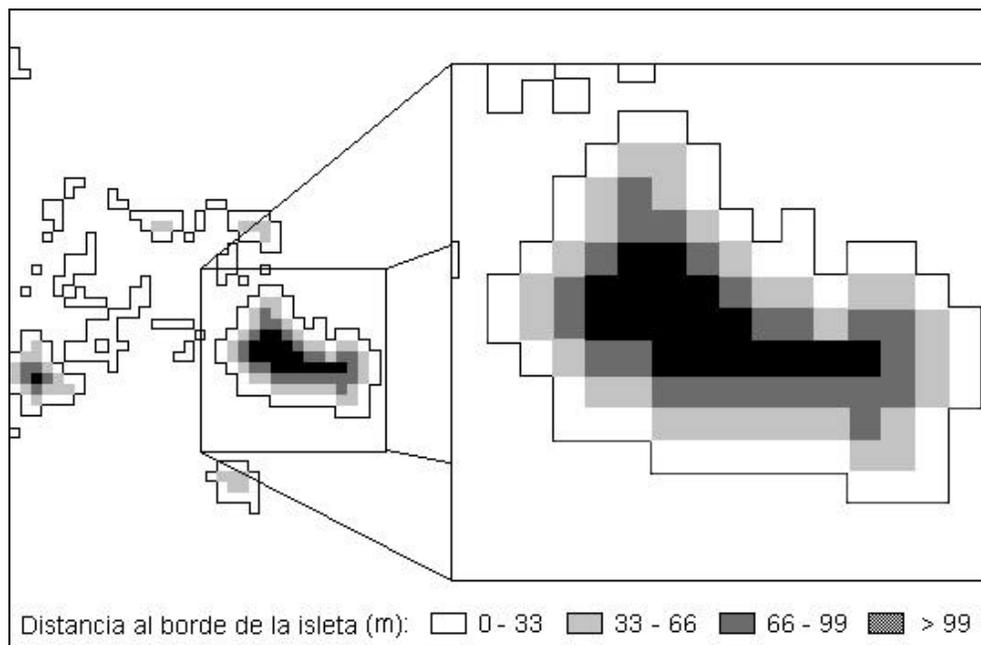


Fig. 3: Detalle de las franjas o sectores de isletas

Las edades y superficies determinadas para el conjunto de isletas y para las subáreas en que estas se dividieron, se sintetizan en la Tabla I:

Tabla I: Características generales de las franjas o sectores de los chañarales

	FRANJA			
	0 a 33	33 a 66	66 a 99	>99
Distancia al borde (m)	0 a 33	33 a 66	66 a 99	>99
Edad (años)	9,7	19,4	29,1	>29,4
Superficie (ha)	92.482	25.967	7.839	4.572
Diámetro medio del fuste (cm)	2,24	7,31	12,13	>14,96
Densidad media (plantas.ha ⁻¹)	9.795	4.293	2.124	1.317

Para las 130.861 ha ocupadas por *Geoffroea decorticans*, la edad promedio de las plantas fue 9,38 años, el diámetro medio de los fustes 4,90 cm y la densidad media 7.947 plantas.ha⁻¹.

Cuando la biomasa por planta se estimó con las ecuaciones previamente citadas, (Molinero y otros, 1986; 1987), los resultados variaron, pudiéndoselos considerar como indicadores de la variabilidad en las características cuantificadas, que se presentan en la Tabla II.

Tabla II: Características productivas de las franjas o sectores de los chañarales estudiados

Distancia al borde (m)	FRANJA			
	0 a 33	33 a 66	66 a 99	> 99
Biomasa (tnMS)	784.184 a 1.033.002	1.099.895 a 1.279.146	533.694 a 556.647	292.500 a 325.293
Biomasa (tn MS. ha ⁻¹)	8,48 a 11,17	42,36 a 49,26	68,08 a 71,01	63,98 a 71,15
Productividad total (tnMS.año ⁻¹)	80.844 a 106.495	56.696 a 65.935	18.340 a 19.129	9.949 a 11.064
Productividad (tnMS. ha ⁻¹ .año ⁻¹)	0,874 a 1,152	2,183 a 2,539	2,340 a 2,440	2,176 a 2,420

Para la región la biomasa acumulada varió de 2.766.019 a 3.138.342 tn de materia seca, con valores unitarios de 21,14 a 23,98 tn MS.ha⁻¹. La productividad osciló entre 167.732 y 200.719 tn.año⁻¹ y la productividad media por unidad de superficie varió de 1,282 a 1,534 tn MS.ha⁻¹.año⁻¹, cifra que representa de 460 a 550 tn MS.día⁻¹.

La producción acumulada para las áreas centrales de las isletas (> 99 m del borde) con una densidad de 1.317 plantas.ha⁻¹ y un diámetro basal de 14,96 cm.planta, registró un promedio de 48,6 a 54 kg MS.planta⁻¹.

Antecedentes sobre trabajos de esta naturaleza, indican para el norte de Chile, que en una superficie con 1.035 árboles.ha⁻¹ se estimó un volumen de 13,3 m³.ha⁻¹, sin especificar el tamaño de los 19 individuos muestreados (Serra, 1998); volumen que, considerando una densidad media de 0,7 kg por cada dm³ (Karlín y otros, 1998a), (Serra, 1998), equivale a 89,9 kg.árbol⁻¹.

En este contexto, para *Prosopis flexuosa* (Karlín y otros, 1998 b) citan un crecimiento leñoso medio anual máximo de 2,7 dm³ y una densidad de la madera seca al aire de 822 kg por metro cúbico. Cifra que se corresponde con una productividad de

2.219 kgMS.año⁻¹, valores semejantes a los calculados para las áreas mayores de 9,7 años de edad estudiados en el presente trabajo.

La productividad leñosa de *Prosopis flexuosa* con 120 árboles.ha⁻¹ se estimó en 32 tn.ha⁻¹ (Karlin y otros, 1998 b) en un bosque de renovales de aproximadamente 40 años de edad, productividad muy inferior a la calculada para chañares con edades similares (Tabla I y II), debido probablemente a las altas densidades que poseen las isletas en esta región.

El incremento anual del radio (3,4 m.año⁻¹) (Echeverría y Molinero, 1991), asignado a todas las isletas en el presente trabajo, se corresponde aproximadamente con un crecimiento del diámetro de los fustes de 0,5 cm cada año. Para chañares de Chile, Serra (1998), cita un crecimiento en diámetro de 0,7 cm al año, diferencia atribuible a múltiples causas, donde la más importante puede ser adjudicada a la insuficiente cantidad de datos locales sobre el tema. Otra causa podría adjudicarse a las diferencias ambientales y/o genéticas existentes entre Chile y San Luis.

Karlin y otros (1998 b) en una recopilación de antecedentes sobre productividad de *Prosopis flexuosa* en Argentina, citan un incremento radial máximo de anillos de crecimiento de 2,9 mm/año, que equivalen a un diámetro de fuste de 5,8 mm.año⁻¹. En el mismo trabajo se mencionan fustes de 30 cm de diámetro en árboles de 70 años de edad, lo que corresponde a un incremento medio anual de 4,29 mm, valor muy cercano a 5,0 mm.año⁻¹ deducido previamente para *Geoffroea decorticans* y utilizado como parámetro en este trabajo.

La aplicación de distintos modelos, en especial el que permite estimar la edad de las plantas, podría subestimar los verdaderos valores productivos, motivo por el cual deberían validarse con suficientes isletas de distintos tamaños y en diferentes tipos de pastizales. Las relaciones entre las características productivas de la especie y las condiciones ambientales, en especial las precipitaciones, deberían estudiarse con el propósito de visualizar los posibles escenarios de ocupación y/o producción, de carne y madera, ante el cambio climático global en curso.

La producción acumulada y la productividad anual relativamente elevadas, estarían sugiriendo la necesidad de realizar estudios de factibilidad para el aprovechamiento industrial de esta especie.

CONCLUSIONES

En las 1,16 millones de ha estudiadas, la proporción de territorio ocupado por el chañar fue 11,26 %.

Por la metodología de simulación utilizada, los resultados productivos deben considerarse como orientativos, aunque representan los únicos datos disponibles.

La productividad de la región varió de 167.732 a 200.719 tn MS.año⁻¹, con una relación por unidad de superficie invadida de 1,28 a 1,53 tn MS.ha⁻¹.año⁻¹. La biomasa total de la región fue de 2,77 a 3,14 millones de tn MS, con 21,14 a 23,98 tn MS.ha⁻¹ por unidad de área ocupada por chañar.

La aplicación de distintos modelos, en especial el que permite estimar la edad de las plantas, podría subestimar la verdadera productividad de la especie. Los resultados deberían ser validados con mediciones de suficientes isletas de distintos tamaños y tipos de pastizales.

BIBLIOGRAFÍA

- ANDERSON D.L., DEL AGUILA J.A. y BERNARDÓN A.E. 1970 Las formaciones vegetales de la provincia de San Luis. RIA (7): 153-172.
- ANDERSON, D.L. 1976. Invasión del chañar (*Geoffroea decorticans* (Gill. ex H. et A.) Burk.) en los pastizales de la provincia de San Luis (Argentina). VII Reunión Argentina de Malezas y su control. tomo IV: 31-45.
- CLARK LABS, 1999. IDRISI 32. CLARK UNIVERSITY. 950 Main St., Worcester, MA 01610-1477 [508-793-7526, fax: 508-793-8842]. Web: <http://www.clarklabs.org>.
- DELAMER, H. 1977. Técnicas de manejo en un establecimiento con invasión de chañar. En: Limitación en la producción ganadera de San Luis debido a las leñosas invasoras. Gobierno de la provincia de San Luis-Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. 31 p.: 19-20.
- ECHEVERRÍA J. C. y MOLINERO H.B. 1991. El chañar en San Luis. Problema y control: Revisión. Centro Regional La Pampa-San Luis. Estación Experimental Agropecuaria San Luis. Información técnica 117. 30 p.
- KARLIN U. O., COIRINI R.O., CATALAN L y ZAPATA R. 1998 a. Especies arbóreas y arbustivas para las zonas áridas y semiáridas de América Latina. *Geoffroea decorticans*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (FAO). Red Latinoamericana de Cooperación Técnica en Sistemas Agroforestales. Web: <http://www.rlc.fao.org/redes/sisag/arboles/Arg-geo.htm>
- KARLIN U. O., COIRINI R.O., CATALAN L y ZAPATA R. 1998 b. Especies arbóreas y arbustivas para las zonas áridas y semiáridas de América Latina. *Prosopis flexuosa*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (FAO). Red Latinoamericana de Cooperación Técnica en Sistemas Agroforestales. Web: <http://www.rlc.fao.org/redes/sisag/arboles/Arg-p-fl.htm>
- MOLINERO H. B., ECHEVERRÍA J. C. y HAIDAR V.H. 1986. Análisis de dimensiones en la determinación de biomasa aérea en una isleta de Chañar *Geoffroea decorticans* (Hook. et Arn.) Burkart. RIA Vol XXI (1): 49-54.
- MOLINERO H. B., ECHEVERRÍA J. C. y HAIDAR V.H. 1987. Caracterización de una isleta de chañar *Geoffroea decorticans* (H. et A.) Burk. del sur de la provincia de San Luis. Argentina. IDIA 463-468: 12-19.
- SERRA M.T. 1998. Especies arbóreas y arbustivas para las zonas áridas y semiáridas de América Latina. *Geoffroea decorticans*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (FAO). Red Latinoamericana de Cooperación Técnica en Sistemas Agroforestales. Web: <http://www.rlc.fao.org/redes/sisag/arboles/Chi-geof.htm>
- VERA, J.C. 1977. Incidencia del chañar en el manejo del pastizal natural. En: Limitación en la producción ganadera de San Luis debido a las leñosas invasoras. Gobierno de la provincia de San Luis-Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. 31 p. :15-18.