

VARIABLES EDAFICAS A CONSIDERARSE EN LA ELECCION
DE TERRENOS PARA PLANTACIONES
CON EL ARBUSTO FORRAJERO *ATRIPLEX NUMMULARIA* LINDL.
I. ESTACION EXPERIMENTAL AGRONOMICA DE LAS CARDAS

SOIL VARIABLES TO BE CONSIDERED WHEN SELECTING SOILS
FOR PLANTATION OF THE
SHRUB *ATRIPLEX NUMMULARIA* LINDL.
I. LAS CARDAS AGRICULTURAL EXPERIMENT STATION

SERGIO LAILHACAR K.¹, WALTER LUZIO L.² y RICARDO GUTIERREZ C.³

Departamento de Producción Animal
Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales
Universidad de Chile
Casilla 1004, Santiago - Chile

RESUMEN

Con el propósito de paliar las variaciones estacionales en la producción y calidad nutritiva del forraje, propias del estrato herbáceo del secano sometido a clima mediterráneo árido de Chile, las plantaciones de arbustos forrajeros se han constituido en una interesante alternativa. La especie arbustiva que hasta la fecha ha logrado la mayor producción es *Atriplex nummularia* Lindl., una nanofanerófita de origen australiano resistente a la aridez. No obstante su tolerancia a una gran diversidad de suelos, no se desarrolla igualmente bien en todos ellos. Este estudio intenta definir qué características del edafotopo determinan el éxito de su establecimiento con el objeto de considerarlas en la programación de futuras plantaciones en la Estación Experimental Agronómica de Las Cardas o en otras localidades de la IV Región de Chile ecológicamente parecidas.

A través de ecuaciones de regresión "paso a paso" (Stepwise) se estableció el efecto que las variables químicas y físicas del suelo, analizadas a diferentes profundidades de muestreo, ejercen sobre los rendimientos de fitomasa forrajera de esta especie, así como sobre sus contenidos de proteína cruda, NaCl y relación Ca/P. Con este propósito se utilizaron plantas coetáneas, pero con distintos rendimientos a consecuencia de variaciones edáficas.

Se concluye que las variables más relacionadas con las respuestas de la planta varían en función de la profundidad del perfil y que, no necesariamente, las muestras extraídas hasta una profundidad mayor son las más adecuadas. Es así como la mejor ecuación predictiva de la fitomasa forrajera considera los contenidos de Na⁺, K⁺ y Cl⁻ entre 0 y 20 cm de profundidad ($R^2 = 0,80$). Del mismo modo, el contenido de proteína cruda del forraje está altamente relacionado con la concentración de sulfatos existentes entre 0 y 50 cm ($r = 0,76$), mientras el de NaCl del mismo lo está con la disponibilidad de Na⁺ entre 0 y 10 cm ($r = 0,91$). Solamente para la relación Ca/P del forraje asociada al contenido de materia orgánica, fue necesario extraer muestras hasta una mayor profundidad para aumentar el nivel de r , el que llegó a 0,82 entre 0 y 90 cm.

¹ Ing. Agrónomo. Profesor del Departamento de Producción Animal, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad de Chile.

² Ing. Agrónomo. Profesor del Departamento de Ingeniería y Suelos, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad de Chile.

³ Estudiante Escuela de Ingeniería Forestal, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad de Chile.

Estudio financiado por FONDECYT a través del proyecto 0561-1987.

Recepción de originales: 17/3/89.

SUMMARY

Shrub plantations for browse production are being widely used to reduce seasonal deficiencies in fodder availability and quality, typical to the annual range in the arid-Mediterranean drylands of Chile.

Atriplex nummularia Lindl. is the most suitable species for this purpose. In spite of its broad tolerance to soil conditions, it does not necessarily thrive on all kinds of soils. The present study determined which soil variables were the most related to yield and forage quality, under the soil conditions of Las Cardas Agricultural Experiment Station.

The effect of chemical and physical soil variables on forage yield, crude protein, and NaCl contents, and on Ca/P ratio, were analyzed through stepwise regressions, by using coetaneous plants with yield differences attributed to the soil.

Event though the predictive variables vary according to the nature of the dependent variables and soil-sampling depth, deeper samples are not necessarily the best. The best equation to predict forage yields is based upon Na^+ , K^+ and Cl^- contents from 0 to 20 cm-depth ($R^2=89$). Similarly, crude protein content is closely related to SO_4^{--} content in samples 0 to 50 cm-depth ($r=.76$), and NaCl to Na^+ from 0 to 10 cm-depth ($r=.91$). Only in respect to Ca/P ratio, soil samples had to be digged deeper (0 to 90 cm), in order to reach the largest correlation coefficient ($r=.82$).

INTRODUCCION

En la zona de secano con clima mediterráneo árido de Chile, la que abarca la mayor parte del territorio de la IV Región, la principal alternativa productiva consiste en la ganadería menor: caprinos y ovinos. Su explotación se basa en el uso de la pradera herbácea con marcado comportamiento estacional por su gran dependencia inmediata de la precipitación y de su distribución, y del estrato arbustivo de mayor estabilidad productiva, tanto en términos de fitomasa forrajera como de valor nutritivo. Estas características son especialmente válidas para las especies forrajeras leñosas de follaje persistente.

La nula o precaria disponibilidad de forraje herbáceo tierno durante los meses de verano y otoño, período en que se practica el encaste y se desarrolla la gestación, se ha visto agravada en los últimos años con la suspensión de la trashumancia a veranadas andinas en territorio argentino por razones principalmente zoonosanitarias, haciendo que el recurso de ramoneo, o forraje producido por especies leñosas, adquiera una relevancia aún mayor.

La Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de la Universidad de Chile ha evaluado, desde 1960, en el secano costero de la IV Región, el comportamiento de numerosas especies forrajeras leñosas, tanto nativas como exóticas (Laihacac, 1962). De todas ellas se han destacado algunas quenopodiáceas del género *Atriplex*, por su

fácil establecimiento, importante aporte proteínico a la dieta en un período de mayores exigencias nutritivas, producción persistente de forraje verde y buena aceptación del mismo por parte del ganado. Es el caso del arbusto de origen australiano *Atriplex nummularia*, que sin ser tan palatable ni producir un forraje tan nutritivo como *Atriplex repanda* Phil., una especie nativa, se establece más fácilmente, evidencia mayores tasas de crecimiento, es menos susceptible al daño por roedores y lagomorfos, mantiene una fitomasa forrajera utilizable en pie superior y su vida útil es considerablemente mayor que la de esta última. En la actualidad la IV Región cuenta con cerca de 40.000 hectáreas plantadas con arbustos forrajeros, principalmente *A. nummularia*, como resultado del plan de fomento forestal que la Corporación Nacional Forestal (CONAF) desarrolla a través del D.L. 701.

Aun cuando algunos autores como De Kock (1984) destacan la amplia tolerancia de esta especie a suelos de distintos pH y texturas, se desprende de la información proveniente de Australia, que prefiere suelos francos a franco-arcillosos no obstante soportar texturas arenosas y reacciones ácidas (Condon y Knowles, 1952; Leigh, 1972b; Cunningham *et al.*, 1981). Los australianos consideran además que crece preferentemente en terrenos planos y en depresiones, donde puede soportar inundaciones esporádicas, aun cuando prefiera suelos de buen drenaje además de fértiles. Por otra

parte, Slatyer (1973) observa que la tolerancia de esta especie al ramoneo está estrechamente relacionada con la fertilidad del suelo.

Las diferencias de comportamiento individual que *A. nummularia* manifiesta entre las plantaciones de la IV Región, así como dentro de éstas (Figura 1), se atribuyen principalmente a factores edáficos, pero hasta ahora estos factores no habían sido identificados ni sus efectos cuantificados.

Si bien el efecto del suelo sobre los

rendimientos de esta especie se pueden constatar fácilmente en terreno, aun cuando se desconozcan las variables edáficas que determinan esa respuesta, su acción sobre las características nutritivas del forraje, en cambio, es difícil de advertir. Por tal razón, el presente estudio consideró, además de la producción de forraje, la respuesta de las variables nutricionales que pudieran estar más estrechamente relacionadas con las propiedades químicas del suelo, como los contenidos de proteína cruda y de NaCl y, la relación Ca/P. Mientras la primera constituye una de las cualidades nutritivas más relevantes del forraje producido por especies quenopodiáceas, las otras dos podrían constituirse en una limitante de su consumo, especialmente cuando se trata de plantaciones puras o con escaso aporte forrajero de las residentes asociadas.

En la Estación Experimental Agronómica de Las Cardas, cuyo suelos representan a los de una vasta área isoecológica, se estudiaron las variables edáficas, químicas y físicas, que definen el rendimiento de forraje y su valor nutritivo en ejemplares seleccionados de distintas clases de fitomasa estimada a través de variables alométricas como diámetro y altura absoluta de planta.

El objetivo de este estudio fue determinar las variables del suelo que el técnico o el ganadero debe considerar para decidir en qué terreno establecer esta especie, a través del mínimo de análisis posibles.

MATERIALES Y METODOS

El trabajo de terreno se realizó en la Estación Experimental Agronómica de Las Cardas (30° 14' Lat. Sur y 71° 16' Long. Oeste) en la comuna de Coquimbo, provincia de Elqui, IV Región. Se eligió una plantación mixta de *Atriplex nummularia* y *A. repanda*, establecida en 1977, y que cubre 7,5 hectáreas.

El clima imperante, de tipo mediterráneo árido según Emberger, se caracteriza por una precipitación media anual de 146 mm de régimen invernal, temperaturas medias de los meses más contrastados de 13°C en junio y de 20°C en febrero, ausencia de heladas, humedades relativas que oscilan entre 79% en julio y 71% en febrero, y una nubosidad matinal media a alta, dada la proximidad de la costa.

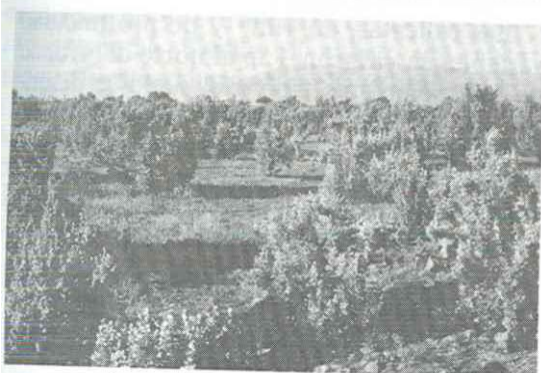


Figura 1. Detalle de la densidad de plantas de *A. nummularia*: baja, media y alta, determinada por las características edáficas del área experimental.

El suelo es de origen coluvial-aluvial, pedregoso y gravoso en todo el perfil, delgado a moderadamente profundo, sobre un duripán de cementación silícica. Según la Taxonomía de Suelos de Soil Survey Staff (USDA, 1987), se clasifica como Aridisol, suborden Orthids por el desarrollo de un horizonte B de color o de textura.

La vegetación de matorral costero, dominada por la unidad florística de incienso de *Flourensia thurifera* (Lailhacar, 1986), ha sido tradicionalmente utilizada con ganadería y en extracción de leña. En 1977, la Corporación Nacional Forestal destruyó el estrato leñoso bajo antes de proceder a la plantación de los arbustos dispuestos en cuadrados de 4 x 4 m, de manera que la densidad original fuese de 625 arbustos/ha. En el transcurso del tiempo esta densidad se redujo considerablemente a consecuencia de la mortalidad de arbustos (39%), particularmente de *Atriplex repanda*. Las diferencias actuales de densidad y de desarrollo de las plantas son consecuencias de las variaciones de suelo. En la lámina 1 se ilustran las situaciones extremas y la intermedia de densidad de plantas.

La caracterización de la población de *A. nummularia* se hizo en septiembre de 1987, considerando las variables dimensionales de altura absoluta de planta y diámetros de copa norte-sur y este-oeste para estimar la fitomasa epígea. Cada uno de los 1.163 ejemplares, medidos en hileras alternadas de tres en tres, se identificó con una etiqueta. Una vez conocido el rango de variación de la altura absoluta y del diámetro medio por planta, se establecieron 16 clases en función de ambos parámetros.

Aun cuando Azócar y Clerc (1988) obtuvieron la mejor estimación de fitomasa en esta especie, utilizando la altura relativa definida por Etienne y Prado (1982), en este estudio se optó por la altura absoluta, por cuanto ésta puede medirse con mayor rapidez y precisión que la relativa, al no contar con adiestramiento previo. Por otra parte, debido al marcado polimorfismo de

las plantas en lo que respecta a la relación altura diámetro, cuyo coeficiente de correlación no excediese 0,65, las clases no sólo se definieron en función de la primera variable, sino también del diámetro medio. De las 16 clases, solamente se encontraron plantas tipo en 14 de ellas, en consideración a que, además de poseer las medidas propias de su clase, cada planta tipo debía estar rodeada de otras similares para asegurar que sus características estuviesen determinadas por el suelo y no por condiciones genotípicas particulares.

En marzo de 1988 se eligieron las plantas tipo en el terreno, se registraron los incrementos de altura y de diámetros producidos en los últimos seis meses y se procedió a establecer el efecto del viento sobre la deposición de mantillo del arbusto con el propósito de fijar la orientación óptima de las calicatas. Esto es importante debido al efecto de reciclaje de nutrientes y de sus distribuciones diferidas en el espacio que provocan las especies leñosas a través de sus mantillos (Lailhacar et al., 1983; Lailhacar y Aylwin, 1988). Con este fin se determinó el porcentaje de cobertura de mantillo sobre el transecto norte-tronco-sur, a través del sistema del cuadrante mínimo modificado de Poissonet y Poissonet (citado por Etienne et al., 1979).

A continuación se cosechó la totalidad de la fitomasa forrajera de cada planta tipo, constituida por hojas, tallos tiernos y tejido reproductivo. Esta fitomasa se pesó en terreno al estado fresco y, a través de submuestras secadas a estufa a 75°C durante 48 horas, se estimó la materia seca forrajera total por planta.

Las calicatas, de 1 m² y de profundidad variable, se cavaron 1 m al norte del tronco de los ejemplares tipo y el suelo se describió de acuerdo con el Soil Survey Manual (USDA, 1981). El muestreo se realizó por horizontes pedogénicos. Las muestras de suelo, secas al aire y tamizadas a 2 mm, se sometieron a los siguientes análisis:

pH en agua 1:1
C E (Conductividad eléctrica)
N disponible
P aprovechable
K⁺ y Na⁺ extraíbles

Potenciometría
Conductivímetro.
Método de Bremner y Keeney.
Método de Olsen.
Método del acetato de amonio y fotometría de llama.

Ca⁺⁺ y Mg⁺⁺ extraíbles

Cl⁻ soluble

SO₄⁼⁼ soluble

M O (materia orgánica)

Granulometría

C I C (Capacidad de intercambio catiónico)

H₂O 1/3 bar (Retención de humedad a 1/3 bar)

H₂O 15 bar (Retención de humedad a 15 bar)

Método del acetato de amonio y absorción atómica.

Potenciometría con electrodo específico. Turbidimetría.

Método de Walkley-Black para carbono orgánico.

Método de Bouyoucos

Método del acetato de sodio y fotometría de llama.

Olla de presión.

Plato de presión.

A través de los rendimientos de materia seca forrajera y de los parámetros alométricos de las plantas tipo, fue posible ajustar la ecuación predictiva de fitomasa y, a partir de las submuestras de forraje utilizadas para

estimar rendimiento de materia seca, se determinaron los contenidos de proteína cruda, NaCl y la relación Ca/P por los métodos siguientes:

N proteínico:

Cl⁻

Na⁺

Ca⁺⁺

P

Destilación en micro Kjeldhal

Potenciometría con electrodo específico.

Fotometría de llama.

Absorción atómica.

Colorimetría.

La selección de las variables edáficas más influyentes en los rendimientos cuantitativos y cualitativos del forraje, se realizó a través de regresiones múltiples por el método del paso a paso (Stepwise), considerando solamente aquellas variables simples o acumuladas cuyo aporte adicional estuviera dentro del nivel de significancia de 0,05.

La interpretación de la información se hizo en función de las profundidades acumuladas en forma progresiva, dada la considerable variación morfológica de los diferentes perfiles descritos en términos del número, tipo y profundidad de los horizontes presentes. Desde el punto de vista práctico, este criterio tiene la ventaja de no requerir de la descripción morfológica de los suelos para definir los horizontes de cada perfil, permitiendo que la extracción de las muestras a profundidades fijas pueda ser efectuada por el propio agricultor.

RESULTADOS Y DISCUSION

Variables edáficas

Las 14 calicatas, correspondientes a los ejemplares de *Atriplex nummularia* de cada clase, permitieron comprobar que la totali-

dad de los perfiles pertenece a la misma unidad geomorfológica de piedmont. No obstante las diferencias observadas entre los horizontes de los distintos perfiles, en general, las propiedades más evidentes de los últimos consisten en la escasa profundidad de suelo y la alta frecuencia de afloramiento rocoso.

Si bien el objetivo principal era determinar el efecto de las variables edáficas sobre el rendimiento y el valor nutritivo del forraje de *A. nummularia*, fue también posible describir el gradiente de los niveles de las variables edáficas en función de las profundidades de muestreo. En el Cuadro 1 se presentan los niveles medios de todas las variables de suelo a profundidades crecientes.

En atención a que muchos de los perfiles muestreados no excedieran 100 cm de profundidad, sólo se presentan los resultados de cada variable hasta esa profundidad. Se observa que, en general, las variables de C E, contenidos de N, P, K⁺, Cl⁻, limo y, desde luego de M O, disminuyen con la profundidad, mientras que, a la inversa, las de pH, Na⁺, Ca⁺⁺ y Mg⁺⁺, aumentan. El anión SO₄⁼⁼ no evidencia una tendencia clara,

Cuadro 1
NIVELES PROMEDIOS DE LAS VARIABLES FISICAS Y QUIMICAS DEL SUELO
EN FUNCION DE LA PROFUNDIDAD

Variable	Unidad	Profundidad (cm)					
		10	20	40	60	80	100
pH		7,1	7,2	7,4	7,5	7,7	7,6
C E	mmhos/cm	0,94	0,50	0,43	0,40	0,49	0,34
N disponible	ppm	12,9	11,0	8,3	9,4	8,7	8,7
P aprovechable	ppm	18,3	15,3	11,0	8,9	6,9	6,5
K ⁺ extraíble	meq/100g	0,68	0,53	0,27	0,22	0,19	0,18
Na ⁺ extraíble	meq/100g	0,27	0,25	0,71	0,84	1,29	0,80
Ca ⁺⁺ extraíble	meq/100g	9,4	11,2	14,8	15,2	17,4	16,8
Mg ⁺⁺ extraíble	meq/100g	5,0	8,2	14,2	15,4	19,4	20,8
Cl ⁻ soluble	meq/l	3,23	1,50	1,27	1,13	1,63	0,88
SO ₄ ⁻⁻⁻ soluble	meq/l	3,28	2,33	2,47	4,03	3,10	2,31
M O	%	2,0	1,3	0,5	0,4	0,3	0,3
Arcilla	%	8,6	10,4	17,3	18,4	16,6	16,2
Arena	%	67,4	68,3	59,4	62,6	63,8	66,1
Limo	%	24,0	21,3	23,3	19,0	19,6	18,3
C I C	meq/100g	14,1	15,8	24,2	28,2	31,2	28,2
H ₂ O 1/3 bar	%	18,3	16,6	17,0	19,9	20,4	17,1
H ₂ O 15 bar	%	8,2	8,3	10,5	11,3	12,8	10,7

mientras que el contenido de arcilla aumenta progresivamente hasta los 60 cm para disminuir a continuación. El contenido de arena, en cambio, revela un comportamiento opuesto al de la arcilla. Como fuera demostrado por Carrasco *et al.* (1978) en otros suelos de la IV Región, la C I C y la retención de humedad a 1/3 y 15 bar están más estrechamente ligadas a la arcilla que a la escasa M O resultante de la precaria cobertura vegetal que sustentan las zonas áridas. Únicamente en el suelo superficial la M O influye en el comportamiento de estas tres variables.

Caracterización de la población

La población de *A. nummularia* con que se

trabajó presentó las características dimensionales que se detallan en el Cuadro 2.

La mayor dimensión que presenta el diámetro norte-sur en comparación al este-oeste (15%), lo que determina una proyección de copa elíptica, confirma el efecto deformante que ejerce el viento norte dominante, en Las Cardas. Este fenómeno es especialmente notorio en el espino (*Acacia caven* Mol.) en el cual el diámetro norte-sur medio supera en 1,5 m al este-oeste en la misma localidad (Lailhacar y Aylwin, 1988).

Aun cuando en forma menos evidente que en *Atriplex repanda* (Padilla, 1986), en esta especie también se produce una disminución progresiva del crecimiento en altura mayor que en diámetro, a medida que la planta se desarrolla y alcanza la madurez.

Cuadro 2
ESTADIGRADOS DE LAS VARIABLES ALOMETRICAS
POBLACIONALES DE *A. NUMMULARIA* EN SEPTIEMBRE 1987

Variable dimensional	Promedio	Rango	Coefficiente de variación (%)
Altura absoluta (cm)	154	10 - 332	26,8
Diámetro norte-sur (cm)	184	18 - 466	40,0
Diámetro este-oeste (cm)	159	13 - 473	45,7
Cobertura elíptica (m ²)	2,37	0,02 - 9,01	58,6

Como puede observarse en la Figura 2, esta tendencia es más notoria en relación al diámetro norte-sur que al este-oeste debido a que el viento dominante favorece el crecimiento del arbusto hacia el sur.

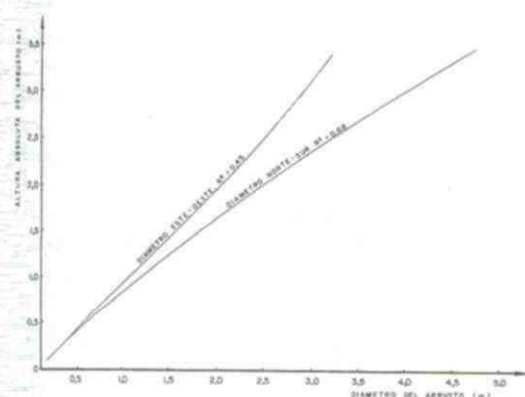


Figura 2: Diferencia en el comportamiento de los diámetros a distintas alturas absolutas de la población de *Atriplex nummularia* consistente en 1.163 plantas.

Al referirse sólo a las plantas tipo, nuevamente se aprecia la acción del viento a través de la orientación en la depositación de mantillo. Mientras, en promedio, el 73% del transecto de 1 m estaba cubierto con hojarasca hacia el sur del arbusto, al norte de éste la cobertura no excedía el 28%. La Figura 3 ilustra la relación existente entre la magnitud del diámetro norte sur de cada arbusto y el porcentaje de cobertura

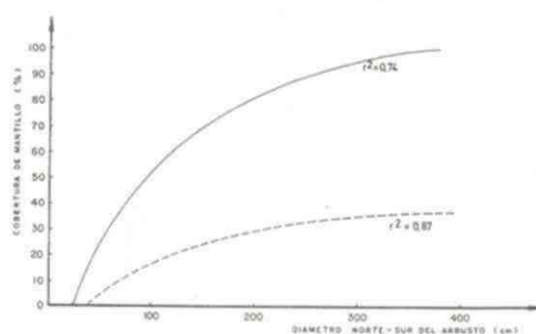


Figura 3: Variación del porcentaje de cobertura de mantillo proveniente del arbusto en función del diámetro norte-sur hasta un metro de distancia al norte (-----) y al sur (——) del tronco.

ra de su hojarasca en las orientaciones norte y sur con respecto al tronco ($r^2 = 0,87$ y $0,74$, respectivamente).

Variables forrajeras: rendimiento y calidad

En lo que respecta a la estimación de rendimiento de fitomasa forrajera por planta a partir de sus parámetros alométricos simples, o productos de éstos, se pueden obtener altos coeficientes de determinación con ecuaciones logarítmicas a menudo difíciles de aplicar en el terreno. Sin embargo, a través de la ecuación lineal siguiente:

Fitomasa (g de materia seca) = $-273,77 + 0,08 \text{ cobertura (cm}^2\text{)}$
donde:

$$\text{Cobertura} = \left(\frac{\text{diámetro Norte-Sur} \times \text{diámetro Este-Oeste}}{4} \right) \times \pi$$

se obtuvo un coeficiente de correlación ($r = 0,96$), lo suficientemente alto para obviar regresiones más complejas. La integración de los dos diámetros a través de la cobertura permite mejorar la estimación en relación con la obtenida individualmente con cada uno de ellos, en cuyo caso el valor de r es $0,90$ para el diámetro este-oeste y solamente $0,78$ para el norte-sur.

Los estadígrafos relativos a las variables de cantidad y calidad de forraje producido se detallan en el Cuadro 3.

Sobre la base del rendimiento medio por planta puede estimarse una producción de

fitomasa forrajera superior a 1 ton MS/ha para esa densidad de plantación. Si bien ese rendimiento es satisfactorio para las condiciones imperantes de aridez, debe tenerse presente que la fitomasa forrajera cosechada no sólo provenía de la última temporada de crecimiento, sino que acumulaba remanentes del año anterior. Del mismo modo, es pertinente considerar el efecto de la alta precipitación registrada en 1987, la que también permitiría un rendimiento superior de forraje por planta.

Mientras el rezago favoreciera una mayor fitomasa en pie, habría provocado una

Cuadro 3
 PROMEDIOS, RANGOS Y COEFICIENTES DE VARIACION
 DE LOS RENDIMIENTOS Y CONTENIDOS DE PROTEÍNA CRUDA,
 NaCl Y RELACION Ca/P DEL FORRAJE EN MARZO DE 1988

Variable forrajera	Promedio	Rango	Coefficiente de variación (%)
Fitomasa forrajera (g M. S./planta)	1.804	10 - 8.715	118
Proteína cruda (% 100% M. S.)	6,9	5,4 - 8,9	16
Contenido de NaCl (% 100% M. S.)	8,0	4,2 - 11,3	24
Relación Ca/P	7,7	3,1 - 19,6	49

disminución en los niveles de proteína cruda, dado que éstos decrecen en función del grado de madurez del tejido analizado. Ello explicaría, en parte, los bajos contenidos de proteína cruda señalados en el Cuadro 3, los cuales discrepan con los valores proporcionados por investigadores australianos: 3,3% de N proteínico (Wilson, 1977) y 21% de proteína cruda (Newman, 1969). Además del efecto negativo que el envejecimiento de los tejidos tiene en el contenido de proteína, debe tenerse en cuenta la época del año en que se realizó el muestreo. A este respecto, Padilla (1986), trabajando con varios ecotipos de *Atripax repanda*, constató que los niveles de proteína cruda son consistentemente inferiores en otoño que en las otras estaciones del año: 15% en marzo, 21% en junio, 26% en septiembre y 17% en diciembre.

A diferencia de Leigh (1972a), quien estima que los altos contenidos de proteína cruda detectados en los forrajes de *Atriplex* spp. no implican necesariamente una mayor proporción de proteína digestible, dada la insuficiente concentración de ácidos grasos para inducir la degradación amónica ruminal, Wilson (1977) considera que el 90% del nitrógeno disponible en el forraje de *A. nummularia* es digerido, característica que lo asemeja a la alfalfa (*Medicago sativa*) en cuanto a nivel proteínico. De acuerdo con esta última observación, los niveles de proteína cruda señalados en el Cuadro 3 satisfarían las exigencias nutritivas de hembras gestantes (Cook, 1971). Sin embargo, si se considera el umbral de 7% de proteína establecido por Fonnesbeck *et al.*, citado por Ostyina *et al.* (1984), para que la flora microbiana de los rumiantes digiera los carbohidratos y materias grasas, es evidente

que muchas plantas no lograrían satisfacer las exigencias proteínicas óptimas por lo menos en otoño.

Al analizar las relaciones existentes entre estas variables, llama la atención la correlación lineal positiva y relativamente alta ($r = 0,69$) detectada entre rendimiento de forraje por planta y contenido de proteína cruda del mismo, la que se ilustra en la Figura 4. Esta correlación sugiere que algunas de las variables del suelo que favorecen el rendimiento de forraje también estimulan la síntesis de proteínas, por cuanto las diferencias de fitomasa entre los individuos de distintas clases no pueden atribuirse a variaciones ontogénicas ni fenológicas dado que ambas características son coetáneas y tienen el mismo origen.

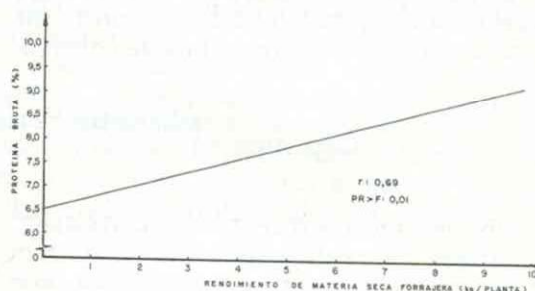


Figura 4. Variación del porcentaje de proteína cruda en función del rendimiento de materia seca forrajera de *Atriplex nummularia*.

La información obtenida en este trabajo concuerda con la conclusión de Melsted *et al.*, citados por Jones *et al.* (1970), en el sentido que la relación N:P de la fracción forrajera —la cual varía en esta especie entre 4,8 y 13,1 ($\bar{X} = 9,4$)— la asemejan

más a una especie cultivada ($N:P = p$ que a una silvestre ($N:P = 40$ a 60).

Respecto del contenido de $NaCl$ en el forraje de *A. nummularia*, la mayor parte de la literatura consultada concuerda en que los excesivos niveles que puede alcanzar suelen limitar su aceptación por el ganado de manera significativa y, a la vez, inducir un consumo de agua considerablemente mayor, recurso que en zonas áridas es generalmente escaso y, a menudo, contiene niveles altos de $NaCl$ (Wilson, 1966). Le Houérou¹ señala que, en el norte de África particularmente, el contenido excesivo de $NaCl$ en el forraje de *A. nummularia* se ha paliado con cultivos de especies nutricionalmente complementarias, ricas en hidratos de carbono y con alto contenido de agua en sus tejidos, como la tuna (*Opuntia ficus indica*). Esta alternativa parece especialmente interesante para el sector de Comunidades Agrícolas campesinas de la IV Región, donde existe una mayor disponibilidad de mano de obra para cosechar las dos especies y proporcionar sus forrajes mezclados, al ganado.

Si bien los contenidos de $NaCl$ detectados en este estudio (Cuadro 3) son relativamente elevados, si los comparamos con los de otras especies forrajeras —cuyos niveles de Na^+ y de Cl^- varían entre 4,6 y 6,4% y entre 2,5 y 6,3%, con promedios de 5,6 y 4,8%, respectivamente— los valores descritos por autores extranjeros para esta especie son aún más altos. Wilson (1977) señala que en muestras de *A. nummularia* con 29,5% de cenizas, el contenido de Na^+ es de 8,2% y el de Cl^- 10,7%, en verano. En invierno estos valores disminuyen a 5,5 y 7,1%, respectivamente.

La mayor concentración de Na^+ que de Cl^- , determinada en estas muestras, sugiere la posibilidad que una mayor proporción de cationes sea neutralizada por ácidos orgánicos y particularmente por ácido oxálico (Waisel, 1972), lo cual podría reducir la aceptación del forraje por parte del ganado. La mayor parte de los autores consultados opina que el nivel de $NaCl$ en los tejidos de las especies de *Atriplex* es consecuencia de su concentración en el suelo y del estado

fenológico de las plantas (Wilson, 1966), o de la edad del tejido foliar (Waisel, 1972), aun cuando otros autores como Leigh (1972-a) consideran que los contenidos de $NaCl$ en los tejidos son independientes de su concentración en el suelo. En ambos casos la frecuencia de utilización del arbusto constituye una alternativa para evitar la acumulación excesiva de sal en los tejidos.

Finalmente, los valores de la relación Ca/P son altos y, a menudo, exceden el nivel superior aceptado en nutrición de rumiantes. Según Morrison (1951), el rango aceptable de esta relación varía entre 0,6 y 6. Cabe señalar, sin embargo, que los valores de los estadígrafos de esta variable (Cuadro 3) son propios del forraje proveniente de especies leñosas, especialmente cuando éstas se encuentran al término de sus ciclos fenológicos. A este respecto Sampson y Jespersen (1963) detectaron niveles aún más elevados en especies leñosas californianas, cuyos valores medios fueron de 16:1 para las de follaje persistente y 28:1 para las de hoja caduca, en la misma estación.

Sin embargo, esta relación aparentemente alta, no reviste importancia si se considera que puede llegar hasta 10:1 sin ocasionar trastornos nutricionales en localidades con suficiente vitamina D disponible, como es el caso de Las Cardas por la adecuada insolación a que está sometida, y que el forraje del arbusto constituye un complemento y no un sustituto del forraje herbáceo seco, cuya relación Ca/P es usualmente baja.

Ecuaciones predictivas de rendimiento y de calidad forrajera

En lo que respecta a las variables edáficas a considerarse en la planificación de plantaciones de *A. nummularia*, en el Cuadro 4 se detallan las ecuaciones predictivas más relevantes de acuerdo con cada variable dependiente considerada.

Tomando en cuenta la alta precipitación producida en 1987, es un hecho que los rendimientos por planta fueron superiores que los producidos después de temporadas de lluvias normales y deficientes, aun cuando la variación de la fitomasa arbustiva no sea tan dependiente de la precipitación como lo es la del estrato herbáceo anual.

¹ Le Houérou, Henri Noël. CNRS-CEPE, Route de Mende, B.P. 5051 - 34033. Montpellier, France Comunicación Personal.

Por consiguiente, como norma general, deberían evitarse las plantaciones en suelos que no permitan rendimientos superiores a 1.000 gramos de materia seca forrajera por planta adulta media.

El efecto de los cationes Na^+ y K^+ , particularmente del primero, en el rendimiento de forraje de *A. nummularia* confirma, por una parte, el comportamiento de halófita de esta especie, al igual que muchas otras quenopodiáceas, y por otra, el requerimiento de Na^+ como elemento esencial, descrito por primera vez por Brownell y Wood (1957) para *Atriplex vesicaria*, y posteriormente por Brownell (1968) en otras especies del género entre las cuales figura *A. nummularia*.

Si bien el Na^+ desempeña un rol básicamente osmorregular, principalmente como NaCl (Osmond, 1980), lo que permite que muchas especies halófitas y xerófitas permanezcan fisiológicamente activas en los períodos de deficiencia hídrica, Waisel (1972) le asigna además una función importante en la agregación de aminoácidos para formar proteínas.

Beadle *et al* (1957), y posteriormente Wilson (1966), observaron que esta especie absorbe una mayor proporción de Na^+ que de K^+ , aun cuando los dos elementos serían en cierta medida intercambiables. En consideración a esta indiferencia y al hecho que la mayor parte de los horizontes estudiados poseen una relación Na^+/K^+ superior a 1, parece razonable que sea el primer catión el que revista mayor importancia, aun cuando en la ecuación lo suceda el segundo. Ashby y Beadle (1957) obtuvieron los mayores rendimientos de fitomasa con esta especie al utilizar soluciones de NaCl 0,2 M, y observaron que bajo esas condiciones también se reducía la incidencia de infecciones patógenas. Los mismos autores indujeron respuestas similares al utilizar KCl . Por su parte, Mozafar *et al.* (1970), trabajando con *Atriplex halimus*, lograron mayores fitomasas, tanto aéreas como radicales, al mezclar NaCl y KCl que al utilizar cada sal por separado.

En suelos donde la concentración de Na^+ es consistentemente superior que la de K^+ , podría, sin embargo, esperarse una marcada preferencia por K^+ , como la señalada por Osmond (1980) para las especies del género *Atriplex* en general.

Así como parecen razonables los efectos positivos del Na^+ y del K^+ sobre los rendimientos de esta especie, llama la atención, en cambio, el efecto negativo que el anión Cl^- ejerce sobre esta variable. El comportamiento de este anión es difícil de explicar si se considera que usualmente es el más absorbido por *Atriplex spp* para neutralizar el exceso de cationes que tales plantas extraen del suelo (Ashby y Beadle, 1957; Greenway, 1968) y el que, según el último autor, sería aún más importante que Na^+ y K^+ en sus crecimientos. Sin embargo, Lailhacar (1976) ya había detectado, en ecuaciones múltiples similares, un efecto negativo del Cl^- sobre los rendimientos de fitomasa aérea total de *Atriplex repanda* a través de cultivos en macetas con 44 suelos contrastados de California.

A medida que aumenta la profundidad de muestreo del suelo, el S, como SO_4^{--} , adquiere importancia como indicador de alto rendimiento. Sin embargo, su valor predictivo no es tan alto como el de los iones anteriores, a la vez que requiere de muestras obtenidas a mayor profundidad.

De las tres variables nutritivas consideradas, el contenido de proteína cruda es el que tiene el menor coeficiente de variación (Cuadro 3). Por consiguiente, es más razonable preocuparse de las variables que determinan rendimiento, sobre todo si se considera que el tenor de N proteínico estaría positivamente ligado al rendimiento de forraje por planta. Sin embargo, considerando que SO_4^{--} constituye la variable que, entre 0 y 50 cm de profundidad, más influye sobre el rendimiento y, a la vez, sobre el contenido de proteína del forraje, de esta investigación se desprende la importancia que la fertilización con S podría significar para el establecimiento y manejo de esta especie.

Este efecto se atribuye a que la mayor parte del S absorbido por el arbusto pasa a constituir productos orgánicos (Waisel, 1972) favoreciendo la síntesis de aminoácidos azufrados, así como la formación de proteínas en general (Tisdale y Nelson, 1971). Vale decir que, además de la importancia directa que el azufre tiene en la nutrición animal, su presencia podría estimular la utilización del N por parte de la planta para producir aminoácidos, reduciendo los riesgos de acumulación excesiva

de NO_3^- y NO_2^- , propios de muchas forrajeras quenopodiáceas y, con ello, las probabilidades de intoxicación del ganado.

El contenido de NaCl en el forraje puede predecirse con una alta precisión a través del tenor de Na^+ de los primeros 10 cm de suelo ($r^2 = 0,82$). El nivel de este coeficiente puede aumentarse aún más si se incluyen las otras variables individualizadas en el Cuadro 4: porcentaje de limo, retención de humedad a 15 bar y contenido de SO_4^{--} a esa misma profundidad de perfil. El efecto negativo que esta última variable ejerce sobre el contenido de NaCl del forraje refuerza aún más la importancia que podría tener su agregación al suelo.

Sin embargo, no se justifica evitar las plantaciones de esta especie en suelos que presentan los niveles de Na^+ más altos descritos en este estudio, dado que este catión está también positivamente relacionado con el rendimiento de forraje del arbusto.

Finalmente, no se justifica utilizar la relación Ca/P como indicadora de dónde plantar esta especie, por cuanto su valor varía considerablemente de una planta a otra, siendo más interesante su nivel medio, el que representa en mejor forma al forraje que el ganado consume. Esto es especialmente válido para caprinos que despliegan una gran movilidad y selectividad de tejidos vegetales, mientras se alimentan. Por lo demás, como se detalla en el Cuadro 4, la predicción de la relación Ca/P, a través del contenido de MO del suelo, requiere de muestreos del suelo hasta 90 cm, profundidad considerablemente mayor que para las

otras variables estudiadas. El valor predictivo de la relación Ca/P que evidenciara la MO se atribuye a la alta correlación existente entre los contenidos de MO y los de P en estos suelos ($r = 0,68$).

Es importante destacar que la información obtenida en el presente estudio es válida solamente para la localidad donde se desarrolló o para otras ecológicamente similares. Tampoco las ecuaciones predictivas descritas pueden emplearse para otras estaciones del año, ni estados fenológicos diferentes de las plantas. Para que esta información pueda ser validada al resto del secano de clima mediterráneo árido de la IV Región, será indispensable realizar un estudio similar, pero exhaustivo a todas las grandes formaciones edáficas presentes en esa región.

CONCLUSIONES

En población adulta de *Atriplex nummularia*, con individuos de distintas dimensiones determinadas por el suelo, se pueden predecir los rendimientos de fitomasa forrajera verde y seca a través de ecuaciones lineales simples, como sucede con la proyección de copa elíptica calculada a partir de los dos diámetros.

En una población de arbustos coetáneos los mayores contenidos de proteína cruda en el forraje se encuentran en los ejemplares más desarrollados como consecuencia que éstos son también los más vigorosos.

Para fines predictivos se estima preferible extraer las muestras de suelo a profundidades fijas en lugar de utilizar los horizontes

Cuadro 4

ECUACIONES PREDICTIVAS DE RENDIMIENTO Y DE NIVELES NUTRITIVOS DEL FORRAJE DE *A. NUMMULARIA* A FINES DE VERANO Y SUS PROFUNDIDADES OPTIMAS DE MUESTREO

Variable dependiente	Ecuación	R^2	Probabilidad > F	Profundidad (cm)
Fitomasa forrajera (g)	$-2.237,04 + 19.436,44 \text{ Na}^+ (\text{meq}/100\text{g})$	0,38	0,00	0 - 20
	$-1.309,94 \text{ Cl}^- (\text{meq}/\text{L})$	0,61		
	$+3.087,34 \text{ K}^+ (\text{meq}/100\text{g})$	0,80		
Proteína cruda (%)	$4,55 + 0,78 \text{ SO}_4^{--} (\text{meq}/\text{L})$	0,57	0,00	0 - 50
Na Cl (%)	$3,26 + 16,30 \text{ Na}^+ (\text{meq}/100\text{g})$	0,82	0,00	0 - 10
	$+0,15 \text{ limo } (\%)$	0,88	0,00	
	$-0,28 \text{ H}_2\text{O } 15 \text{ bar } (\%)$	0,94		
	$-0,27 \text{ SO}_4^{--} (\text{meq}/\text{L})$	0,96		
Relación Ca/P	$10,90 - 5,68 \text{ MO } (\%)$	0,68	0,01	0 - 90

pedogénicos, como consecuencia de la diversidad de clases, de número y de espesor de éstos.

La fitomasa forrajera que se espera de plantaciones adultas de esta especie puede predecirse a partir de los contenidos de Na^+ , K^+ y Cl^- del suelo en muestras extraídas entre 0 y 20 cm de profundidad. Esta especie no debería plantarse en aquellos suelos donde las expectativas de producción por arbusto adulto, determinada por los niveles de estos tres iones, sea inferior a 1 kg de materia seca forrajera.

A partir de los 50 cm de profundidad, el contenido del SO_4^{--} permite predecir simultáneamente el rendimiento de forraje y el contenido de proteína cruda del mismo. Sin embargo, como estas dos variables están relacionadas positivamente entre sí, basta con estimar la primera a 20 cm de profundidad a partir de Na^+ , K^+ y Cl^- . Esta información, sin embargo, sugiere la posibilidad de estimular incrementos en ambas variables a través de la fertilización en base a azufre.

En esta localidad, ni el contenido de

NaCl del forraje de *A. nummularia* ni su relación Ca/P alcanzan niveles críticos desde el punto de vista dietético del ganado caprino y ovino, por cuanto aquél representa solamente una fracción de la dieta total.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a los señores Domingo Lara, de la Dirección de Riego del Ministerio de Obras Públicas; César González, de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas de la Universidad de Chile; y Gerardo Galindo, de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Santiago de Chile, por las facilidades de laboratorio para desarrollar parte de los análisis requeridos. Del mismo modo agradecen al personal de la Estación Experimental Agronómica de Las Cardas y del Centro de Estudios de Zonas Áridas que participaron en la etapa de terreno, así como de los Laboratorios de Química de Suelos y Aguas, y de Nutrición Animal de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de la Universidad de Chile.

LITERATURA CITADA

- ASHBY, W.C. and BEADLE, N.C.W. 1957. Studies in halophytes. III: Salinity factors in the growth of Australian saltbushes. *Ecology* 38 (2): 344-352.
- AZOCAR, P. y CLERC, R. 1988. Manejo caprino con arbustos forrajeros y pradera natural en el sector Las Cardas años 1984 a 1987. Coquimbo, Universidad de Chile - CONAF. 130 p.
- BEADLE, N. C. W., WHALLEY, R. D. B. and GIBSON, J.B. 1957. Studies in halophytes II: Analytic data on the mineral constituents of three species of *Atriplex* and their accompanying soils in Australia. *Ecology* 38 (2): 340-344.
- BROWNELL, P.F. 1968. Sodium as an essential micronutrient element for some higher Plant. *and Soil* 28: 161-164 p.
- and WOOD, V.G. 1957. Sodium as an essential micronutrient element for *Atriplex vesicaria* H. *Nature* 179 (4560): 635-636.
- CARRASCO, A. y otros. 1978. Correlaciones de algunas propiedades químicas y físico-químicas de suelos del secano costero de la IV Región. En: Simposio Nacional de la Ciencia del Suelo, 20. Santiago, Universidad de Chile. Facultad de Agronomía. V. 1 pp. 258-267.
- CONDON, R.W. and KNOWLES, G.H. 1952. Saltbushes. *Journal of the Soil Conservation Service of New South Wales* 8 (4): 149-153.
- COOK, C.W. 1971. Comparative nutritive values of forbs, grasses and shrubs. En: *Wildland Shrubs - Their Biology and utilization*. McKell, C.M. Blaisdell, J.P. and Goodin, J.R. Eds. USDA. Forest Service. Inter-Mountain Forest and Range Experiment Station, pp. 303-310.
- CUNNINGHAM, G.M. y otros. 1981. Plants of Western New South Wales. N.S.W., Government Printing Office-Soil Conservation Service, 766 p.
- DE KOCK, G. 1984. Saltbush saves. Have you considered planting saltbush? South Africa, Cape. Department of Agriculture, Karoo Region Newsletter. Autumn Issue, pp. 1-5.
- ETIENNE, M.; CAVIEDES, E. y CONTRERAS, D. 1979. Nuevo enfoque en la evaluación de la productividad de las praderas. En: Curso Seminario para el Desarrollo de las Zonas en Desertificación. La Serena. Instituto Nacional de Investigación de Recursos Naturales. V. 2, p. 1-12.

- y PRADO, C. 1982. Descripción de la vegetación mediante la cartografía de la ocupación de tierras. Santiago, Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias, Veterinarias y Forestales, 110 p.
- GREENWAY, H. 1968. Growth stimulation by high chloride concentrations in halophytes. *Israel Journal of Botany* 1: 169-177.
- JONES, R.; HODGKINSON, K.C. and RIXON, A.J. 1970. Growth and productivity in rangeland species of *Atriplex*. En: *The Biology of Atriplex*. R. Jones (Editor). Canberra, CSIRO, Division of Plant Industry, Australia, pp. 31-42.
- LAILHACAR, S. 1962. Adaptación de especies forrajeras en el sector norte del secano de la costa (Departamento de Illapel). Tesis Ing. Agr. Santiago, Universidad de Chile. Facultad de Agronomía, 200 p.
- 1976. Effect of soil parameters on the components of biomass production in *Atriplex polycarpa* (Torr.), *Wats.*, and *Atriplex repanda* Phil. Tesis Ph. D. Davis, University of California. 57p.
- 1986. Las grandes formaciones vegetales de las zonas desérticas y mediterráneas perárida y árida de Chile con énfasis en sus aptitudes forrajeras. Santiago, Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo. Boletín N° 5: 142-231.
- y AYLWIN, M. de la P. 1988. Efecto de tres especies leñosas en algunas variables del suelo y del estrato herbáceo en la pradera de clima mediterránea árido. *Simiente* 58 (1 y 2): 51-61.
- CARRASCO, A. y BADILLA, I. 1983. Efectos del arbusto forrajero *Atriplex repanda* Phil. en algunas propiedades químicas del suelo superficial. *Terra Aridae* 2 (1): 257-280.
- LEIGH, J.H. 1972a. Saltbush and other chenopod browse shrubs. In: *The Use of Trees and Shrubs in the Dry Country of Australia*. Australia. Department of National Development, Forestry and Timber Bureau. Australian Government Publishing Service, pp. 306-399.
- 1972b. Notes on some of the most important trees and shrubs. In: *The Use of Trees and Shrubs in the Dry Country of Australia*. Australia. Department of National Development, Forestry and Timber Bureau. Australian Government Publishing Service, pp. 306-399.
- MORRISON, F.B. 1951. Alimentos y alimentación del ganado. México, Uteha. V. 1, 722 p.
- MOZAFAR, A.; GOODIN, J.B. and OERTLI, J.J. 1970. Na and K interaction in increasing the salt tolerance of *Atriplex halimus* L. Yield characteristics and osmotic potential. *Agronomy Journal* 62: 478-481.
- NEWMAN, R.N. 1969. The chemical composition, digestibility and intake of some native pasture species in Central Australia during winter. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry* 9 (41): 599-602.
- OSMOND, C.B.; BJORKMAN, O. and ANDERSON, D.J. 1980. Physiological processes in plant ecology. Toward a synthesis with *Atriplex*. Berlín, Heidelberg, Springer - Verlag. 468 p.
- OSTYINA, R.M.; MC KELL, C.M.; MALECHECK, J.M. and VAN EPPS, G.A. 1984. Potencial of *Atriplex* and other chenopod shrubs for increasing range productivity and fall and winter grazing use. Symposium on the Biology of *Atriplex* and related chenopods. USDA, Forest Service, General Technical Report INT. 172, pp. 215-219.
- PADILLA, F. 1986. Selección de procedencias de sereno (*Atriplex repanda* Phil.) en el secano costero de la provincia de Elqui, IV Región. Tesis Ing. Agr. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Santiago, Universidad de Chile, 144 p.
- SAMPSON, A.W. and JESPERSEN, B.S. 1963. California range brushlands and browse plants. Berkeley, California Agricultural Experimental Station. Manual 33. 162 p.
- SLATYER, R.O. 1973. Structure and function of Australian arid shrublands. En: *Arid Shrublands*. Proceedings of the Third United States/Australia Rangelands Panel. Tucson, Arizona, 1973. Denver, Colorado, Society for Range Management, pp. 66-73.
- USDA, SOIL CONSERVATION SERVICE. 1981. Soil Survey Manual, 107 p.
- USDA, SOIL CONSERVATION SERVICE. 1987. Keys to Soil Taxonomy. SMSS Technical Monograph N° 6, 280 p.
- TISDALE, S.L. and NELSON W.L. 1971. Soil fertility and fertilizers. New York, MacMillan, 694 p.
- WASEL, Y. 1972. Biology of halophytes. New York, Academic Press, 395 p.
- WILSON, A.D. 1966. The intake and excretion of sodium by sheep fed on species of *Atriplex* (saltbush) and *Kochia* (bluebush). *Australian Journal of Agricultural Research* 17: 155-163.
- WILSON, A.D. 1977. The digestibility and voluntary intake of the leaves of trees and shrubs by sheep and goats. *Australian Journal of Agricultural Research* 27: 155-162.