

PREDICCIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD PRIMARIA DE PASTIZALES NATURALES DE LA PAMPA DEPRIMIDA UTILIZANDO PROPIEDADES DEL HORIZONTE A.

P VAZQUEZ, JL COSTA, G MONTERUBBIANESI, P GODZ

Unidad integrada EEA Balcarce, INTA-FCA Balcarce, UNMdP. Ruta 226 km 72.5. E-mail: pmvazquez@ciudad.com.ar

Recibido 9 de octubre de 2000, aceptado 8 de noviembre de 2001

PREDICTION OF NATURAL GRASSLANDS PRIMARY PRODUCTION ON THE BASIS OF A HORIZON PROPERTIES IN THE FLOODING PAMPAS.

The objective of this work was to develop predictive models of native grasslands dry matter productivity (DM) with nitrogen and phosphorus fertilization in sodic soils of the Flooding Pampas using the properties of A horizon over two growing seasons with contrasting water stress levels (612 mm vs 1046 mm). Total rainfall during the growing season affected the relative weight of A horizon properties on predicting DM. When P was added (40 kg P ha⁻¹) the variables most associated with DM production were pH and sand. The R² for the dry and the humid period were 0.88 and 0.91, respectively. When phosphorus and nitrogen were applied (40 kg P ha⁻¹ and 200 kg N ha⁻¹), gravimetric water content at 33 kPa and sand were selected as independent variables in the dry period (R²=0.91), and sodium adsorption ratio (RAS) and clay were selected in the humid period (R²=0.90). Nitrogen use efficiency was better predicted by the gravimetric water content at 1500 kPa and sand in the dry period (R²=0.97) and by sand in the humid period (R²=0.57).

Key words: Natural Grasslands, Sodic Soils, A Horizon Soil Properties, N, P, water Stress.

INTRODUCCION

El 24% de la superficie de la provincia de Buenos Aires (7.08 millones de hectáreas) está ocupada por suelos hidrohalmórficos (Natracuoles, Natracualfes, etc.) donde al menos, el 68 % de los mismos (4.75 millones de hectáreas) se hallan en la Pampa deprimida (Miaczynski 1995).

El sodio afecta negativamente a la estructura del suelo, provocando la dispersión y/o expansión de las partículas de arcilla, con la consiguiente destrucción de agregados (Rengasamy, Olsson 1991; Crescimanno *et al.* 1995). Hay una marcada discrepancia entre los investigadores sobre los niveles críticos de este catión para calificar a un suelo como sódico. En numerosos casos se observaron sus efectos aún con valores de porcentaje de sodio de intercambio (PSI) inferiores a 15, particularmente cuando se está en presencia de soluciones diluidas (Quirk, Schofield 1955, Sumner 1993). El establecimiento de un valor crítico de PSI es arbitrario debido a que las propiedades exhibidas por el grupo de suelos denominados sódicos son sólo el resultado de múltiples interacciones entre contenido de sodio, textura,

conductividad eléctrica, pH y materia orgánica (Crescimanno *et al.* 1995, Sumner 1993). Greene *et al.* (1978) determinaron la influencia del tamaño de partículas sobre la dispersividad de los agregados, considerando para texturas finas y para texturas gruesas un PSI crítico superior al 10 y al 20%, respectivamente.

La compleja génesis de los suelos sódicos de esta área dificultó la identificación de propiedades edáficas que pudiesen explicar claramente las diferencias de productividad halladas entre estos suelos. Sala *et al.* (1981) determinó que el 64 % de la biomasa radical de las comunidades vegetales de la pampa deprimida se desarrollaría en los primeros 10 cm del suelo. Similares resultados fueron hallados por Jackson *et al.* (1996) en pastizales de clima templado. Sala *et al.* (1981) también hallaron ausencia de correlación entre la altura de la napa freática y el estado hídrico de estas comunidades. Estudios sobre apertura estomática demostraron que algunas especies detectan el estado hídrico total del volumen de suelo explorado por las raíces, el cual se traduce en señales hormonales desde éstas hacia la parte aérea que controlan la transpiración

(Jones 1980 -citado por Jones, Corlett 1992- y Passioura 1994). Esto refuerza la idea del horizonte A como principal sitio de diagnóstico.

Los horizontes A de los suelos sódicos descritos en la Pampa Deprimida presentan un diámetro geométrico de partícula (DGP) promedio de 0.022, con un desvío estándar de 0.01 y un coeficiente de variación del 35 % (calculado a partir de las bases de datos del laboratorio de análisis de suelos del INTA Castelar); valores suficientemente amplios para considerar a las clases texturales arcillas, limos finos, limos gruesos y arenas como elementos vinculados al comportamiento de estos suelos, y por ende, a su productividad. Costa y García (1998) detectaron un patrón espacial de la producción de materia seca asociado principalmente al pH en un pastizal natural desarrollado sobre un complejo de suelos sódicos dominado por la serie Guido ($R^2=0.58$).

Así, bajo la hipótesis de que la productividad de los pastizales desarrollados sobre Natracuoles y Natracualfes de la Pampa Deprimida está condicionada principalmente por las fracciones texturales y por el pH del horizonte A, y que las variables edáficas condicionantes de la productividad son dependientes del ambiente, el presente trabajo tuvo por objetivo identificar las propiedades edáficas del horizonte A más significativas para predecir la producción de materia seca de estos pastizales en dos condiciones de estrés hídrico.

MATERIALES Y METODOS

La experiencia se realizó sobre ensayos de fertilización nitrogenada y fosfatada conducidos por el grupo de Suelos Bajos de la EEA INTA Balcarce desde 1995 en los partidos de Ayacucho, Balcarce, Dolores y Pila (Figura 1). La precipitación media anual del área en estudio es de 884 mm (Dato calculado a partir de la información recopilada por las OIT de INTA entre los años 1970 y 2000).

La composición botánica de las parcelas estudiadas está representada principalmente por comunidades serales o subserales alcalinas (*Distichlis spicata*, *Distichlis scoparia*, *Puccinelliaglaucescens*, *Sporobolus pyramidatus*, *Lolium multiflorum*, *Lotus tenuis*, *Plantago myosurus*, *Eryngium echinatum*, entre otras (Consejo Federal de Inversiones 1980). Las parcelas ubicadas en Dolores presentaron una mayor presencia de *Stenotaphrum secundatum*, con una menor participación de *Distichlis spicata*. Las



Figura 1: Ubicación de las parcelas experimentales
Figure 1: Location of the experimental plots.

parcelas ubicadas en la localidad de Pila presentaron una composición botánica más cercana a las comunidades serales salinas, siendo las especies más representativas en ese momento, en orden de importancia: *Distichlis spicata*, *Lolium multiflorum* (adaptado a condiciones salinas), *Salicornia ambigua* y *Lotus tenuis*. La inclusión de tres suelos de la serie Castelli responde a las diferencias encontradas en conductividad eléctrica en años anteriores, explicables por la ubicación en el relieve (loma, media loma o bajo), a pesar de que éste estuviera poco desarrollado.

Se seleccionaron nueve suelos sobre los cuales se ubicaron dos parcelas de 75 m² cada una (5 metros por 15 metros). Estas parcelas recibieron el agregado de 40 kg P ha⁻¹ (0-40 kg ha⁻¹) y 200 kg de N más 40 kg de P ha⁻¹ (200-40 kg ha⁻¹), respectivamente. La fuente fosfórica utilizada fue superfosfato triple de calcio y la nitrogenada fue nitrato de amonio calcáreo, ambas aplicadas anualmente a la salida del invierno.

Se realizó un único muestreo de suelo al inicio del ensayo (mayo de 1995), previo a la aplicación del fertilizante. Se tomaron cuatro submuestras del horizonte A de cada suelo. La aleatorización de la extracción de las submuestras dentro de cada suelo se realizó mediante el diseño de una grilla de 12 celdas distribuidas entre las dos parcelas asignadas a cada uno de los suelos. Las submuestras fueron secadas en estufa a 60°C, molidas y pasadas por tamiz de 2 mm. A cada una

de las muestras se le determinó porcentaje de materia orgánica por el método de Broadbent (1965); cationes solubles, pH y conductividad eléctrica según Rhoades (1982). Los cationes intercambiables fueron determinados por saturación con acetato de amonio (pH=7) y desplazados con acetato de sodio (Thomas 1982), Na⁺ y K⁺ fueron determinados por medio de fotometría de llama y Ca²⁺ y Mg²⁺ por medio de espectrofotometría de absorción atómica.

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) se determinó según Chapman (1965). La textura se determinó por el método de la pipeta de Robinson, separando la muestra en cuatro fracciones granulométricas: arcillas, limos finos, limos gruesos y arena (Gee, Bauder 1986). Se calculó el diámetro geométrico promedio de las partículas (DGP) a partir de la metodología propuesta por Shirazi y Boersma (1984). Se midieron los contenidos de humedad gravimétrica (θ g g⁻¹) a 33, 100, 300, 800 y 1500 kPa en ollas de presión. El contenido de humedad gravimétrica a cada tensión considerada se determinó a partir de tres submuestras de 20 g de suelo seco saturadas. Se definió el cambio textural abrupto cuando la relación % arcilla del horizonte subyacente - % arcilla del horizonte A fuere mayor a 1.7 (Soil Survey Staff 1998).

Los suelos seleccionados, la localidad y los tratamientos se presentan en la Tabla 1.

La productividad primaria de cada parcela, expresada como kg de materia seca ha⁻¹, se determinó

a partir de la sumatoria de los cortes de forraje realizados durante la estación de crecimiento (desde octubre hasta abril, aproximadamente) cuando el forraje alcanzaba los 15 cm de altura, dejando un remanente de 5 cm en cada caso. Se realizó un único corte de 17 m² sobre cada parcela en cada momento que el forraje estaba en condiciones de ser cosechado. Cada muestra fue pesada verde en el campo, extrayendo en cada caso una submuestra para determinar su humedad dentro de las 24 horas. Finalizado cada corte, se efectuaron cortes de limpieza eliminando todo el material remanente fuera de las parcelas.

La eficiencia en el uso de nitrógeno (EUN) se estimó como el diferencial de productividad primaria entre los tratamientos 200-40 kg ha⁻¹ y 0-40 kg ha⁻¹ de N y P, respectivamente, por kg de N aplicado. Este resultado se expresó como kg de materia seca kg⁻¹ N aplicado.

Para estudiar el efecto del estrés hídrico sobre la selección de las variables edáficas más estrechamente asociadas a la productividad primaria de los pastizales naturales desarrollados sobre Natracuoles y Natracualfes, se seleccionaron dos ciclos de cortes con diferentes precipitaciones, el ciclo 1995-96 con precipitaciones muy por debajo de la media (612 mm \pm 85) y el ciclo 1997-98 con precipitaciones cercanas al promedio (1046 mm \pm 92). Se incluyeron los milímetros de lluvia registrados en cada localidad durante cada ciclo de

Tabla 1. Suelos seleccionados y dosis de fertilizante en aplicados.

Table 1. Selected soils and rates of fertilizer application

| Localidad | Suborden | Serie | Dosis de fertilizante kg ha ⁻¹ año ⁻¹ | |
|------------------|-------------------|---------------------------|--|-----|
| | | | P | N |
| Ayacucho | Natracualf Típico | Juncalito | 40 | 200 |
| | | | 40 | 0 |
| | Natracualf Típico | Chelforó | 40 | 200 |
| | | | 40 | 0 |
| Balcarce | Natracualf Mólico | El Destino | 40 | 200 |
| | | | 40 | 0 |
| | Natracualf Mólico | El Destino, fase somera | 40 | 200 |
| | | | 40 | 0 |
| Dolores | Natracuol Típico | El Carmen | 40 | 200 |
| | | | 40 | 0 |
| | Natracuol Típico | El Carmen, fase somera | 40 | 200 |
| | | | 40 | 0 |
| Pila | Natracuol Típico | Castelli, fase muy salina | 40 | 200 |
| | | | 40 | 0 |
| | Natracuol Típico | Castelli, fase muy salina | 40 | 200 |
| | | | 40 | 0 |
| Natracuol Típico | Castelli | 40 | 200 | |
| | | 40 | 0 | |

cortes como variable independiente para contemplar en el análisis de regresión los efectos de las variaciones locales en la cantidad de lluvia caída sobre la productividad primaria y EUN. Cabe aclarar que debido a la pérdida de los datos ocurrida durante el ciclo de cortes 1995-96 en la localidad de Dolores, los datos de lluvia de este sitio no fueron incluidos en el análisis parcial del período con severo estrés hídrico.

Para identificar a las propiedades edáficas más significativas se utilizó el procedimiento STEPWISE (SAS 1999). Como se esperaba que los ambientes hídrico y nutricional modificaran la importancia relativa de las propiedades edáficas al momento de explicar productividad primaria y EUN, se planteó un análisis individual de cada caso.

Una vez definidos los modelos, se simplificaron, como máximo, a dos variables independientes para maximizar el cuadrado medio del error y para simplificar su interpretación. Para evitar la incorporación de variables autocorrelacionadas dentro de un mismo modelo, se generó una matriz de correlación con todas las propiedades presentes, descartando del modelo a una de las variables que posea un r igual o superior a 0.70 y que su presencia o ausencia no afecte la performance del modelo. Este valor propuesto es arbitrario, pues no existe un nivel crítico de r para determinar autocorrelación (Miyers 1986).

RESULTADOS Y DISCUSION

La productividad de materia seca promedio de las parcelas fertilizadas con fósforo, fósforo más nitrógeno y la EUN del período más húmedo fueron un 180, 95 y 70 % superior a lo obtenido durante el ciclo seco, respectivamente. La condición hídrica más favorable registrada durante el segundo ciclo de cortes disminuyó la variabilidad en la producción de materia seca promedio de los suelos estudiados. Esto fue más notorio cuando se aplicó el tratamiento completo (Tabla 2).

Durante el período de déficit hídrico severo, el pH y el porcentaje de arena fueron las variables que más explicaron la producción de materia seca cuando solo se agregó fósforo ($R^2=0.88$; C.V.%=36.3) (Tabla 3).

El efecto negativo del incremento en el pH sobre la producción de biomasa de los pastizales naturales de la cuenca del Salado y otras comunidades ha sido descrito por Costa y García (1998). Siendo las principales fuentes de alcalinidad de estos suelos el Na_2CO_3 y el NaCO_3H , altos valores de alcalinidad se corresponden con elevados contenidos de

Tabla 2: Producción de materia seca medida en suelos sódicos de los partidos de Ayacucho, Balcarce, Dolores y Pila, para una situación deficiente y no deficiente de nitrógeno, durante un ciclo de escasas precipitaciones (1995-96) y otro normal (1997-98).

Table 2: Dry matter production measured in sodic soils of the Ayacucho, Balcarce, Dolores and Pila districts, for a limiting and no limiting N disponibility, during a limited rainfall period (1995-96) and a normal period (1997-98).

| Localidad | Serie | 1995-96 | | | 1997-98 | | |
|-----------|------------------------|----------------------------------|---------|------|---------|--------|-------|
| | | 0-40 | 200-40 | EUN | 0-40 | 200-40 | EUN |
| | | kg materia seca ha ⁻¹ | | | | | |
| Aya cucho | Juncalito | 1351 | 1778.5 | 2.9 | 2070.7 | 7166.3 | 34.0 |
| | Chelforó | 334.25 | 314.5 | -0.1 | 1172.9 | 5249.8 | 27.2 |
| Balcarce | El Destino | 2680.1 | 5223.2 | 12.7 | 5255.4 | 5788.5 | 2.7 |
| | El Destino, f/somera | 825.6 | 4235.2 | 17.0 | 2923.4 | 4276.6 | 6.8 |
| Dolores | El Carmen | -- | -- | | 5780.2 | 5651.6 | -0.6 |
| | El Carmen, f/somera | -- | -- | | 4113.8 | 6290.8 | 10.9 |
| Pila | Castelli | 916.6 | 2573.7 | 8.3 | 2286.8 | 3630.8 | 6.7 |
| | Castelli, f/muy salina | 497 | 1421.1 | 4.6 | 3121.4 | 2857.1 | -1.3 |
| | Castelli, f/muy salina | 201 | 1242.7 | 5.2 | 2018.0 | 3914.7 | 9.5 |
| Promedio | | 972.22 | 2398.41 | 7.2 | 3193.6 | 4980.7 | 10.6 |
| C.V.% | | 87.20 | 73.02 | 82.2 | 48.8 | 28.1 | 114.4 |

Tabla 3: Modelos predictivos de productividad primaria con agregado de fósforo, fósforo más nitrógeno y eficiencia del uso del nitrógeno obtenidos con el procedimiento STEPWISE utilizando las variables del horizonte A para un año con severo déficit hídrico y otro con precipitación normal.

Table 3: Selection of primary productivity models with the adding of phosphorus, phosphorus plus nitrogen and nitrogen use efficiency obtained by STEPWISE proceeding, contemplating A horizons properties for a year with severe hydric stress and other with normal rainfall.

| Año | Tratamiento | Modelo | | | | | |
|---------------------------|-------------|--------------------|----------|----------------|---------|---------|--------|
| | | Coef. de regresión | Prob >T | R ² | C.V.(%) | Prob >F | |
| SEVERO DÉFICIT HÍDRICO | 0-40 | Intercepto | 8366.2 | 0.003 | 0.88 | 36.3 | 0.013 |
| | | pH | -1133.5 | 0.006 | | | |
| | | % arena | 34.4 | 0.10 | | | |
| | 200-40 | Intercepto | -8546.7 | 0.009 | 0.91 | 26.1 | 0.007 |
| | | q C.Campo | 20387 | 0.003 | | | |
| | | % arena | 97.8 | 0.02 | | | |
| | EUN | Intercepto | -4147.78 | 0.0016 | 0.97 | 18.6 | 0.001 |
| | | q PMP | 18731 | 0.0005 | | | |
| | | % arena | 66.05 | 0.0029 | | | |
| PRECIPITACIÓN NORMAL | 0-40 | Intercepto | 12706 | 0.0004 | 0.91 | 16.3 | 0.0006 |
| | | % arena | 104.66 | 0.0005 | | | |
| | | pH | -1774.75 | 0.0005 | | | |
| | 200-40 | Intercepto | 4299.5 | 0.003 | 0.90 | 9.7 | 0.0008 |
| | | RAS | -114.9 | 0.0008 | | | |
| | | % arcilla | 110.01 | 0.02 | | | |
| | EUN | Intercepto | 8817.8 | 0.006 | 0.57 | 70 | 0.018 |
| | | % arena | -103.2 | 0.018 | | | |

sodio, catión responsable de la pérdida de estructura del suelo. También el aumento del pH disminuye la disponibilidad del fósforo, pues en un medio alcalino se favorece la formación de compuestos de baja solubilidad como la hidroxiapatita y la fluoroapatita (Tisdale *et al.* 1993). La diferencia encontrada entre el R² hallado por Costa y García (1998) (R²=0.58) y este trabajo (R²=0.88) responde en primera instancia a que el modelo seleccionado en este trabajo incluyó la variable porcentaje de arena. Eliminando esta variable para comparar de una forma más equitativa, el R² obtenido fue de 0.76. Esta diferencia podría atribuirse en primera instancia, a que Costa y García (1998) analizaron un solo corte del ciclo correspondiente al período 1991-92, sin la aplicación de fertilizante. Otro aspecto a considerar es el grado de estrés hídrico de ese ensayo en particular, al momento de efectuarse dicho corte.

La asociación positiva observada entre el porcentaje de arena y la producción de materia seca estaría relacionada con las propiedades físicas de esta fracción. Su menor superficie específica, si se la compara con la de las fracciones arcilla y limos, y la ausencia de

carga en su superficie, hacen que el sodio no pueda interactuar con ellas. De aquí que los suelos de textura gruesa presenten un menor deterioro de su estructura y por ende un valor crítico de PSI superior cuando son comparados con suelos de texturas más finas, con contenidos de sodio similares (Greene *et al.* 1978; Oster *et al.* 1980).

Cuando el fósforo y el nitrógeno fueron provistos, el contenido de agua gravimétrica a capacidad de campo (θ g g⁻¹ 33 kPa) y el porcentaje de arena definieron la productividad primaria (R²=0.91; C.V%=26.1). Puede interpretarse que la mayor capacidad de retención de agua en el suelo aumenta las probabilidades de superar un momento de déficit hídrico. Como en el caso anterior, la arena estaría vinculada al menor deterioro de las propiedades físicas del suelo en presencia del catión sodio.

Bajo condiciones de estrés hídrico severo, el modelo explicativo de la EUN incluyó, como en el caso anterior, a las variables contenido de agua gravimétrica residual (θ g g⁻¹ 1500 kPa) y porcentaje de arena (R²=0.97; C.V.=18.6). El contenido de agua gravimétrica

residual está positivamente asociado a la EUN, lo cual es convergente con el concepto de utilización del agua más allá del punto de marchitez permanente definido para la mayoría de los cultivos tradicionales. Esto permite suponer que la fracción de agua retenida por debajo de los 1500 kPa cumpliría un rol importante en la supervivencia de estas comunidades vegetales en momentos de déficit hídrico.

Para el período con mayores precipitaciones, se observaron cambios en algunas de las situaciones estudiadas. Cuando sólo se agregó fósforo, las variables seleccionadas coincidieron con las del mismo tratamiento en el período seco (porcentaje de arena y pH) cambiando solamente las pendientes del modelo ($R^2=0.91$; C.V.%=16.3).

Cuando fósforo y nitrógeno fueron agregados, el porcentaje de arcilla y el RAS definieron la producción de materia seca ($R^2=0.90$; C.V.%=9.7). La variable porcentaje de arcilla reflejaría, en primer grado, un mayor contenido de humedad del suelo y, en segundo término, un cambio de textura abrupto entre el horizonte A y el subyacente ($r=-0.88$). Con respecto a este último punto, en la medida en que el cambio textural es menos abrupto, la penetración radicular se realizaría bajo condiciones de menor estrés, siempre que no se trate de horizontes muy endurecidos (Hamblin 1985). El RAS resumiría dos efectos negativos: los propios del sodio y los atribuibles a salinidad, ya que CE y RAS presentaron un $r=0.92$. Desde el punto de vista de la CE, la producción de materia seca fue afectada principalmente por el aumento del potencial osmótico de la solución del suelo en la zona radical. La disminución del potencial osmótico tiene un efecto directo, reduciendo el agua disponible para las plantas. Si éstas están adaptadas a tolerar salinidad, parte de sus recursos energéticos son destinados al ajuste del potencial osmótico de sus raíces, afectando el crecimiento (Maas, Hoffman 1977).

La asociación positiva de la producción de materia seca con el contenido de arcilla indicaría que el RAS representó en mayor proporción un efecto osmótico (serie Castelli y sus fases). Se encontró una alta correlación positiva entre RAS y PSI ($r=0.75$), por lo cual altos valores de RAS indicarían un

elevado porcentaje de sodio en los sitios de intercambio. Si el sodio de intercambio hubiese sido el efecto primario, la arcilla debería haber estado asociada negativamente con la productividad de materia seca, ya que a medida que aumentan las fracciones finas en el suelo, el valor crítico de sodio disminuye (Greene *et al.* 1978).

Para la EUN, el modelo incluyó el porcentaje de arena ($R^2=0.57$, C.V.%=70), el cual se asoció negativamente a la EUN, a diferencia del resto de los casos donde participó. Se observó la mayor EUN (34 y 27 kg MS kg⁻¹N) en los pastizales desarrollados sobre suelos con el menor porcentaje de arena (Juncalito y Chelforó: 12.9 y 22.9% de arena, respectivamente). Bajo condiciones hídricas más propicias, las comunidades desarrolladas en estos suelos respondieron satisfactoriamente al agregado de N a pesar del elevado contenido de materia orgánica de estos suelos (Juncalito y Chelforó: 8.1 y 5.7%, respectivamente). Se debe considerar que el espesor del horizonte A de ambos suelos es somero, por lo cual el elevado porcentaje de materia orgánica determinado en estos suelos no implicaría un suministro de nitrógeno suficiente para observar EUN inferiores a las determinadas. El elevado valor de EUN y la gran diferencia de producción determinados sobre estos suelos, podrían atribuirse a que luego de tres años de elevada fertilización con nitrógeno la comunidad vegetal se tornó preponderantemente gramínea y dominada por *Lolium multiflorum*. Lo opuesto se observó en las parcelas fertilizadas sólo con fósforo, donde las especies latifoliadas fueron más preponderantes. Este mismo comportamiento fue observado por Ginzo *et al.* (1986).

En el extremo opuesto encontramos a las series El Carmen y El Carmen, fase somera, las cuales presentaron altos porcentajes de arena (58 y 34 %, respectivamente). En este caso el porcentaje de arena representa una mejor condición física del suelo, ya que esta propiedad está inversamente relacionada a la dispersión de agregados por efectos del sodio. También es coincidente que estos suelos poseen buenos contenidos de materia orgánica (5 y 4 %, respectivamente) y sus horizontes A son profundos (mayor a 19 cm). Todas estas condiciones son propicias para una buena

mineralización de la materia orgánica y provisión de N. Esto es claramente visible en la escasa diferencia observada entre las producciones obtenidas sobre las parcelas fertilizadas con fósforo y fósforo más nitrógeno (Tabla 2). La EUN negativa observada en la serie El Carmen debería interpretarse como ausencia de efecto del nitrógeno aplicado y no como un efecto detrimental de este fertilizante sobre la productividad de materia seca, ya que solo se están comparando dos observaciones y la EUN no es muy negativa como para sospechar lo contrario.

Hubiese sido esperable que el espesor del horizonte A fuese seleccionado por el procedimiento STEPWISE como elemento de diagnóstico. El hecho de que esto no haya ocurrido respondería principalmente a que dentro de los suelos con horizonte A profundo se encuentran los suelos salinos de la serie Castelli. Como en el caso anterior, los tres suelos de la serie Castelli presentaron altos porcentajes de arena (40% de arena en promedio, C.V.%=17) y la EUN determinada en ellos fue baja (Tabla 2). Sin embargo, los valores de producción primaria con el agregado de fósforo y fósforo más nitrógeno fueron inferiores debido a la elevada conductividad eléctrica que presentaron (superior a 10 dS m⁻¹).

Se observó una diferencia muy marcada en la producción de materia seca obtenida sobre la serie Juncalito con el tratamiento 200-40 kg ha⁻¹ de N y P cuando se compararon los períodos de severo estrés hídrico y de precipitación normal. Este comportamiento podría atribuirse a la existencia de un banco de semillas de *Lolium multiflorum* que se expresó en el segundo ciclo de cortes, cuando el ambiente hídrico fue más favorable. En la localidad de Balcarce se observaron mínimas diferencias de producción de materia seca entre los períodos de severo estrés hídrico y de precipitación normal cuando el tratamiento 200-40 kg ha⁻¹ de N y P fue aplicado. Esta localidad registró una lluvia acumulada durante el ciclo de cortes realizado con severo estrés hídrico superior al del resto de las localidades, lo cual explicaría las menores diferencias existentes entre las producciones de materia seca obtenidas de ambos períodos de corte seco y húmedo para el tratamiento 200-40 kg

ha⁻¹ de N y P, respectivamente.

CONCLUSIONES

Las propiedades edáficas del horizonte A permiten pronosticar satisfactoriamente la productividad de materia seca y la eficiencia de uso del nitrógeno de pastizales naturales desarrollados sobre diversos suelos sódicos de la Pampa Deprimida, cuando el nitrógeno y el fósforo no son limitantes. El ambiente hídrico y el nutricional alteraron la importancia relativa de las propiedades de suelo al momento de definir productividad de materia seca y eficiencia en el uso del nitrógeno, obteniéndose distintos modelos para cada combinación ambiente hídrico-ambiente nutricional. El pH fue determinante al momento de definir productividad primaria cuando el P no fue la principal limitante. El porcentaje de arena fue seleccionado en casi todos los modelos, vinculado, probablemente, a su efecto amortiguador de la dispersión de los agregados por el sodio. La capacidad de retención de humedad, expresada como contenido de agua a 33 kPa y a 1500 kPa, estuvo asociada al ciclo de severo estrés hídrico. El RAS, amalgamando el efecto del sodio, la conductividad eléctrica y el porcentaje de arcilla, sólo intervinieron en el período húmedo, cuando nitrógeno y fósforo no fueron limitantes.

BIBLIOGRAFIA

- Broadbent FE. 1965. Organic matter. En: Black, C.A. (Ed.) Methods of soil analysis. Part II. Am. Soc. Agr. N°9. Inc., Madison, Wis.
- Chapman HD. 1965. Cation exchange capacity. En Black C.A. (Ed.) Methods of soil analysis. Part II. Am. Soc. Agr. N°9. Inc., Madison, Wis.
- Consejo Federal de Inversiones (Provincia de Buenos Aires). 1980. Estudio de la zona deprimida del Salado. Informe final (1ª etapa): Estudios de suelos y vegetación. Volumen III, parte D. La Plata.
- Costa JL, García FO. 1998. Respuesta de un pastizal natural a la fertilización con fósforo y nitrógeno en un natracuol. RIA 28: 31-39.
- Crescimanno G, Iovino M, Provenzano G. 1995. Influence of salinity and sodicity on structural and hydraulic characteristics. Soil Sci. Soc. Am. J. 59: 1701-1708.
- Gee GW, Bauder JW. 1986. Particle size analyses. En: Klute A. (Ed.) Methods of soil analysis. Part I: Physical and mineralogical methods. Am.

- Soc. Agr. N°9. Inc., Madison, Wis.
- Ginzo HD, Collantes MB, Caso OH. 1986. Fertilization of a halophytic natural grassland in Argentina : herbage dry matter, botanical composition and mineral content. *Turrialba* 36: 453-459.
- Greene RS, Posner AM, Quirk JP. 1978. A study of the coagulation of montmorillonite and illite suspensions using the electron microscope. En Emerson WW, Bond RD, Dexter AR (Ed.) *Modifications of soil structure*. John Wiley and Sons, N.Y.
- Hamblin AP. 1985. The influence of soil structure on water movement, crop root growth and water uptake. *Advances in Agronomy* 38: 95-158.
- Jackson RB, Canadell J, Ehleringer JR, Mooney HA, Sala OE, Schulze ED. 1996. A global analysis of root distributions for terrestrial biomes. *Oecología* 108: 389-411.
- Jones HG, Corlett JE. 1992. Review : Current topics in drought physiology. *J. Agr. Sci.* 119: 291-296.
- Maas EV, Hoffman GJ. 1977. Crop salt tolerance – current assessment. *J.Irrig.Drain Div. Proc. Am. Soc. Civil Eng. (ASAE)* 103: 115-134.
- Miaczynski C. 1995. Los suelos hidromórficos e hidrohalmórficos de la provincia de Buenos Aires. *Rev. Fac. Agr.* 15: 23-36.
- Miyers HR. 1986. *Classical & Modern regression with application*. Duxbury press, Massachusetts. Pag.218.
- Oster J.D, Shainberg I, Wood JD. 1980. Flocculation value and gel structure of sodium/calcium montmorillonite and illite suspension. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44: 955-959.
- Passioura JB. 1994. Physiology and determination of crop yields. En: Boote et al. (EDs.). *The yield of crops in relation to drought*. ASA. CSIRO, Canberra Australia. p. 343-359.
- Quirk JP, Schofield RK. 1955. The effect of electrolyte concentration on soil permeability. *J. Soil Sci.* 6 : 163-178.
- Rengasamy P, Olsson KA. 1991. Sodicity and soil structure. *Aust. J. Soil Res.* 29: 935-952.
- Rhoades JD. 1982. Soluble salts. En A.L. Page et al. (EDs.), *Methods of soil analysis. Part II*. Am. Soc. Agr. N°9. Inc., Madison, Wis.
- Sala O, Soriano A, Perelman S. 1981. Relaciones hídricas de algunos componentes de un pastizal de la depresión del Salado. *Rev. Fac. Agr. (Universidad Nacional de Buenos Aires)* 2: 1-10.
- SAS Institute. 1999. *SAS/STAT User's Guide*. SAS Inst. Cary, NC.
- Shirazi MA, Boersma L. 1984. A unifying quantitative analysis of soil texture. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48 : 142-147.
- Soil Survey Staff. 1998. *Keys to Soil Taxonomy*. 8th ed. USDA, NRCS. Washington D.C. 326 p.
- Sumner M. 1993. Sodic soils: new perspectives. *Aust. J. Soil Res.* 31: 683-750.
- Thomas GW. 1982. Exchangeable cations. En A.L. Page et al. (ED.). *Methods of soil Analysis. Part II*. Am. Soc. Agr. N°9. Inc., Madison, Wis.
- Tisdale SL, Nelson WL, Beaton JD, Havlin JL. 1993. *Soil fertility and fertilizers*. P. F. Corey (Ed.). Macmillan Publishing Company, NewYork. Chapter 6: Soil and Fertilizer Phosphorus. 176-229.
- Tricart J. 1973. *La geomorfología de la Pampa Deprimida como base para los estudios edafológicos y agronómicos*. Plan mapa de suelos de la región Pampeana, INTA. Buenos Aires. XII colección científica. 202 p.