

TRABAJO CIENTÍFICO

Influencia de las propiedades edáficas sobre el crecimiento de *Schinopsis balansae* Engler en el Parque Chaqueño Húmedo (Argentina)

Influence of soil properties on the growth of Schinopsis balansae Engler in the Humid Parque Chaqueño (Argentina)

Prause, J.¹; C. Fernández López²; J. F. Gallardo Lancho³

Recibido en mayo de 2021; aceptado en septiembre de 2021

RESUMEN

Schinopsis balansae (quebracho colorado chaqueño) es una especie dominante característica del Chaco Húmedo Argentino, que se desarrolla en suelos con limitaciones físicas escasamente reversibles, que sólo las especies arbóreas de alta rusticidad pueden colonizarlos. El objetivo del trabajo fue analizar las propiedades edáficas que pueden influir sobre el crecimiento y desarrollo de reforestaciones con *S. balansae* en la ecorregión del Chaco Húmedo argentino. Al efecto fueron seleccionados cuatro sitios forestados con *S. balansae* en la ecorregión del Chaco Húmedo en el Parque Chaqueño Oriental. Las plantaciones de la misma franja etaria (10 - 12 años), similar distancia de plantación (4 m x 4 m) y estado sanitario. En cada sitio se seleccionaron 12 árboles representativos, midiéndose el diámetro altura de pecho (DAP) y la altura de fuste, tomándose muestras de suelo a 0 a -10; -10 a -25; -25 a -55; y -55 a -115 cm de profundidad. Se realizaron las siguientes determinaciones: textura; densidad aparente (Da); porosidad capilar (Pmc); pH; conductividad eléctrica (CE); materia orgánica edáfica (MOS); Ca²⁺, K⁺ y Na⁺ de cambio; y relación de adsorción de sodio (RAS). Se concluye que las propiedades edáficas condicionantes para el crecimiento y desarrollo de forestaciones con quebracho colorado chaqueño son la salinidad (positivamente, relacionada con la conductividad eléctrica) y negativamente la textura (exceso de arcilla) que afectarían a la instalación y crecimiento del quebracho colorado chaqueño; aunque en profundidad se prefiere un aumento de la RAS, pero manteniéndose una moderada salinidad.

Palabras clave: propiedades edáficas, reforestaciones, quebracho colorado chaqueño.

ABSTRACT

Schinopsis balansae (quebracho colorado chaqueño) is a dominant species, characteristic of the humid Chaco (Argentina) where the quality of the soil is often low, primarily due to physical limitations (poor drainage), i.e., where only tree species of high rusticity can colonize. The objective of the study was to analyze the edaphic properties that may influence the growth and development of reforestation using quebracho (*S. balansae*) in the Argentine humid Chaco ecoregion. For this purpose, four sites forested with plantations of the same age (years 10-12), similar distance (4 x 4 m²) and health status of *S. balansae* were selected. In each site, twelve individuals were measured at their diameter at height of chest (DAP) and trunk length (H), and its soil sampled at 0 to - 10; -10 to - 25; -25 to - 55; and - 55 to - 115 cm depth. The following parameters were measured: texture; bulk density (Da); capillary porosity (Pmc); pH; electrical conductivity (CE); soil organic matter (MOS); exchangeable Ca²⁺, K⁺ and Na⁺; and (RAS) sodium adsorption ratio. It is concluded that the edaphic properties conditioning the growth and development of afforestations with quebracho colorado chaqueño are salinity (positively, related to electrical conductivity) and texture (negatively, excess of clay) that would affect the installation and growth of the quebracho colorado chaqueño; even though, concerning depth, an increase in de RAS is preferred, though keeping a moderate salinity.

Key words: edaphic properties, afforestations, quebracho colorado chaqueño.

¹ Universidad Nacional del Chaco Austral (UNCAUS). Cmte. Fernández N° 755. (3700) Presidencia Roque Sáenz Peña, Chaco. Argentina. E-mail: juanprause@uncaus.edu.ar

² Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. EEA - Corrientes. Ruta Nacional 12 km 1008 (3416) Corrientes, Argentina.

³ Consejo Superior de Investigaciones Científicas (C.S.I.C.), Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Salamanca (IRNASA). 37008 Salamanca. España.

1. INTRODUCCIÓN

Tradicionalmente el bosque nativo se ha venido manejando como un recurso natural no renovable, esto es, sin tener en cuenta su posible regeneración, por lo que para la repoblación o regeneración quedaron los ejemplares más viejos y enfermos (Morello *et al.*, 2007; Morello, 2012) y especialmente los bosques de quebracho colorado chaqueño (*Schinopsis balansae* Engler) sufrieron una fuerte modificación, debido a una intensa explotación forestal (Barberis *et al.*, 2005). Es una especie pionera que muestra una amplia distribución ecológica; instalándose en sitios no inundables y también en aquellos que sufren anegamientos prolongados (Marino y Pensiero, 2003), también en suelos arcillosos, alcalinos y con drenaje insuficiente (Barberis *et al.*, 2012). Por tanto, se considera que el factor principal de la formación de los bosques del Chaco es el tipo de suelo (Lebedeff, 1933). Es una especie característica de la región chaqueña oriental y no se regenera espontáneamente dentro del bosque (Barret, 1997). Su regeneración natural se produce fuera de él; desde el borde de éste hacia fuera y para la germinación de las semillas necesita temperaturas de aproximadamente, 34 °C a la sombra (Valentini, 1960; Carnevale *et al.*, 2004).

Los suelos donde se encuentran instalados los quebrachales son de origen fluvio-lacustres y con frecuencia presentan horizontes edáficos impermeables (Popolizio *et al.*, 1978; Ledesma y Zurita, 1995). La calidad de los suelos suele ser baja, fundamentalmente, por las limitaciones físicas existentes y sólo prosperan las especies arbóreas de alta rusticidad (Patiño *et al.*, 1994). La distribución de los individuos adultos de las especies dominantes en el quebrachal se ha atribuido a variables hídricas y salinas (Carnevale *et al.*, 2004). *Schinopsis balansae* crece en los bordes de las áreas convexas donde es una de las especies dominantes del estrato superior (Barberis *et al.*, 2005) y también se la encuentra formando parte de los montes densos que ocupan los “blanquizales o gredales”, con texturas limo-arcillosas, impermeable, fuertemente salino-alcalino en todo el perfil (Barberis *et al.*, 2012).

Resultados reportados por diversos autores (Carnevale *et al.*, 2004; Morello *et al.*, 2007; Barberis *et al.*, 2012), indican que la salinidad no sólo limita la germinación de *S. balansae*, sino que también afecta a las plántulas tras su germinación por encima de una concentración de 0,2 molal de NaCl, mostrando signos de inhibición de crecimiento o anomalías tanto en el hipocótilo como en las raíces, por encima de 0,3 molal de la sal. Esto ha llevado a postular que las variaciones espaciotemporales de la concentración salina de los suelos influyen en la instalación del quebrachal, particularmente en el horizonte superficial al determinarse la zona de máxima actividad radical utilizando el isótopo ³²P en *S. balansae* determinándose que la mayor cantidad de raíces fisiológicamente activas se encuentran a 10 cm de profundidad (Prause y Marinich, 2000). El objetivo del trabajo es relacionar las propiedades edáficas a diferentes profundidades del perfil de suelo, que puedan influir sobre el crecimiento y desarrollo de reforestaciones *S. balansae* en la Ecorregión del Chaco Húmedo Argentino. La hipótesis planteada en este trabajo es que las propiedades químicas del horizonte superficial tienen preponderancia sobre las propiedades físicas y, en consecuencia, inciden prioritariamente sobre el crecimiento y desarrollo de *S. balansae*; por el contrario, en los horizontes subsuperficiales las propiedades físicas son las que más influyen sobre el desarrollo del árbol.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Las parcelas reforestadas elegidas se encuentran incluidas en la Ecorregión del Chaco Húmedo en el Parque Chaqueño Oriental, Argentina (Morello, 2012). El sector oriental de la Provincia del Chaco clasificada climáticamente según Köppen como (Cf) Clima templado húmedo (Strahler y Strahler, 1997), con una temperatura media de 21,5 °C y la precipitación media anual de

1.343 mm año⁻¹ (EEA INTA Colonia Benítez, 2012). También se corresponde con un clima de Bosque abierto y Parque semidecídulo subtropical (Bruniard, 2000). El estudio fue realizado en cuatro parcelas o sitios reforestados con *S. balansae*; tres de ellos localizados en Puerto Tirol (27° 22' S - 59° 04' W y 51 m s.n.m.) y el cuarto en La Escondida (27° 05' S - 59° 27' W y 63 m s.n.m.). Los mismos fueron elegidos poniendo énfasis en las variables orográficas y edáficas y las plantaciones más representativas de la misma franja etaria (10 - 12 años), con similar distancia de plantación (4 m x 4 m) y estado sanitario. Los suelos de los sitios 1 y 2 fueron clasificados como Natracualf típico, mientras que en el sitio 3, reforestado usando camellones, el suelo se clasificó como Natracualf albico (los tres localizados en Puerto Tirol). El sitio 4 fue clasificado como Natrustalf mólico (localizado en La Escondida).

Los cuatro sitios presentan en todo el perfil un porcentaje de arcilla superior al 30 % (Tabla 1), seleccionándose en cada sitio 12 árboles representativos, midiéndose el diámetro altura de pecho (DAP) y la altura de fuste (H). Se tomaron muestras de suelo a cuatro profundidades (0 - 10; 10 - 25; 25 - 55; y 55 - 115 cm) bajo la proyección de copa de cada uno de los árboles seleccionados, determinando: textura, método densimétrico; densidad aparente (Da) por el método de la probeta (Montenegro González *et al.*, 1990); por cálculos se determinó la porosidad capilar o microporosidad (Pmc); (Montenegro González *et al.*, 1990); pH en agua (1:2.5) mediante potenciometría; conductividad eléctrica (CE); materia orgánica edáfica (MOS) por el método de Walkley-Black (Sparks *et al.*, 1996); los cationes de cambio por desplazamiento con acetato amónico neutro, determinando Ca²⁺ por complejometría; y K⁺ y Na⁺ por fometría de llama (Sparks *et al.*, 1996) y Relación de Adsorción de Sodio (RAS) en extracto de pasta saturada (Sparks *et al.*, 1996).

El análisis estadístico consistió en un análisis de la varianza, para determinar si existían diferencias significativas entre los sitios en estudio respecto al diámetro altura de pecho y altura de fuste aplicando la prueba de Tukey ($P < 0,05$) y un MANOVA para analizar posibles interacciones de las variables de suelo sitio y profundidad. Para determinar la propiedad del suelo que más se relacionan con los distintos tratamientos, se utilizó un análisis de componentes principales. Se utilizó el software INFOSAT 2012 (Di Rienzo *et al.*, 2012).

3. RESULTADOS

La Tabla 2 muestra que en el sitio 2 se presentan los valores significativamente mayores ($P < 0,05$) del diámetro altura de pecho (DAP) y la altura de fuste ($11,9 \pm 0,19$ cm y $6,9 \pm 0,10$ m) respecto a los demás sitios reforestados; por tanto, es el sitio 2 es el que se consideró con un suelo de mayor aptitud para *S. balansae*. Por el contrario, en el sitio 4 el desarrollo de la forestación fue sensiblemente menor, registrándose valores significativamente menores ($P < 0,05$) de DAP ($8,8 \pm 0,19$ cm) y altura de fuste ($5,1 \pm 0,10$ m).

Tabla 2. Datos dasométricos de los árboles de quebracho colorado chaqueño (edad: 10 - 12 años).

Sitio	DAP (cm)	Altura de fuste (m)
1. Puerto Tirol	$9,9 \pm 0,19C$	$6,4 \pm 0,10B$
2. Puerto Tirol	$11,9 \pm 0,19A$	$6,9 \pm 0,10A$
3. Puerto Tirol	$10,4 \pm 0,19B$	$6,3 \pm 0,10B$
4. La Escondida	$8,8 \pm 0,19D$	$5,1 \pm 0,10C$

Letras distintas significan diferencias significativas con $P < 0,05$ (DAP.: Diámetro a 1,3 m).

Tabla 1. Datos de suelo en interacción sitio x profundidad (promedio de 12 repeticiones).

Sitio *	Arena	Limo	Arcilla	Da	Pmc	pH	MOS	Ca ²⁺	K ⁺	Na ⁺	CE	RAS
Prof. (cm)	%	%	%	kg dm-3	(% vol)	(H ₂ O)	%	½cmole kg-1	cmole kg-1	cmole kg-1	dS m-1	
Sitio 1												
0-10	28,0±0,83 a	39±1,2 bc	33±1,3 i	1,20±0,01 de	50,7±0,64 ns	7,2±0,15 ns	4,2±0,18 b	6,7±0,70 ns	0,63±0,07 bcde	1,8±0,74 gh	1,6±0,17 b	5±1,7 efg
10-25	22,1±0,83 cd	41±1,2 ab	37±1,3 h	1,31±0,01 bc	47,2±0,64 ns	7,8±0,15 ns	2,4±0,18 cd	7,6±0,70 ns	0,42±0,07 ef	3,0±0,74 defgh	1,0±0,17 c	8±1,7 def
25-55	21,2±0,83 de	39±1,2 bcd	40±1,3 gh	1,35±0,01 a	44,3±0,64 ns	8,0±0,15 ns	1,3±0,18 fg	9,3±0,70 ns	0,41±0,07 f	5,1±0,74 cd	0,7±0,17 cd	11±1,7 cd
55-115	19,0±0,83 ef	38±1,2 bcde	43±1,3 fg	1,34±0,01 ab	46,9±0,64 ns	8,9±0,15 ns	1,0±0,18 ghi	9,5±0,70 ns	0,53±0,07 cdef	7,3±0,74 b	0,6±0,17cde	16±1,7 bc
Sitio 2												
0-10	24,8±0,83 b	44±1,2 a	31±1,3 i	1,19±0,01 e	51,2±0,64 ns	7,5±0,15 ns	4,0±0,18 b	6,9±0,70 ns	0,75±0,07 b	1,6±0,74 gh	1,6±0,17 b	4±1,7 fg
10-25	19,1±0,83 ef	39±1,2 bc	42±1,3 g	1,31±0,01 bc	46,7±0,64 ns	8,1±0,15 ns	2,5±0,18 cd	9,7±0,70 ns	0,77±0,07 b	2,7±0,74 efg	0,9±0,17 cd	10±1,7 de
25-55	17,4±0,83 fg	37±1,2 cde	46±1,3 ef	1,32±0,01 abc	46,7±0,64 ns	8,7±0,15 ns	1,3±0,18 fg	12,8±0,70 ns	0,63±0,07 bcde	4,3±0,74 cdef	0,7±0,17 cd	13±1,7 cd
55-115	17,7±0,83 fg	36±1,2 cdef	47±1,3 ef	1,33±0,01 abc	46,7±0,64 ns	9,3±0,15 ns	1,0±0,18 ghi	12,1±0,70 ns	0,63±0,07 bcde	5,6±0,74 bc	0,6±0,17cde	16±1,7 bc
Sitio 3												
0-10	24,1±0,83 bc	44±1,2 a	32±1,3 i	1,16±0,01 f	52,6±0,64 ns	6,7±0,15 ns	3,7±0,18 b	5,9±0,70 ns	0,83±0,07 b	1,9±0,74 gh	1,9±0,17 b	8±1,7 def
10-25	18,6±0,83 fg	36±1,2 def	46±1,3 ef	1,30±0,01 c	47,8±0,64 ns	7,6±0,15 ns	1,6±0,18 ef	8,4±0,70 ns	0,67±0,07 bc	2,4±0,74 fgh	0,9±0,17 cd	9±1,7 de
25-55	16,1±0,83 g	32±1,2 f	52±1,3 d	1,34±0,01 ab	45,9±0,64 ns	8,6±0,15 ns	1,1±0,18 fgh	11,2±0,70 ns	0,79±0,07 b	3,8±0,74 cdefg	0,6±0,17 cde	20±1,7 ab
55-115	16,3±0,83 g	34±1,2 ef	50±1,3 de	1,34±0,01 abc	47,4±0,64 ns	8,7±0,15 ns	0,6±0,18 hi	10,00±0,70 ns	0,82±0,07 b	4,3±0,74 cdef	0,4±0,17 de	21±1,7 a
Sitio 4												
0-10	12,9±0,83 h	23±1,2 g	64±1,3 c	1,11±0,01 g	51,5±0,64 ns	6,3±0,15 ns	5,1±0,18 a	10,4±0,70 ns	1,08±0,07 a	1,0±0,74 h	0,3±0,17 de	1±1,7 g
10-25	5,5±0,83 i	18±1,2 h	77±1,3 a	1,23±0,01 d	48,4±0,64 ns	6,8±0,15 ns	3,0±0,18 c	12,0±0,70 ns	0,63±0,07 bcd	1,6±0,74 gh	0,2±0,17 e	1±1,7 g
25-55	12,6±0,83 h	8,3±1,2 i	79±1,3 a	1,21±0,01 de	48,7±0,64 ns	7,7±0,15 ns	2,0±0,18 de	13,1±0,70 ns	0,51±0,07 cdef	5,0±0,74 cde	0,6±0,17 cde	3±1,7 fg
55-115	24,4±0,83 bc	6,7±1,2 i	69±1,3 b	1,19±0,01 e	50,4±0,64 ns	7,9±0,15 ns	0,5±0,18 i	16,0±0,70 ns	0,44±0,07 def	18,4±0,74 a	2,6±0,17 a	5±1,7 efg

La Tabla 3 de los componentes principales, muestra los datos del eje I referidos a cada profundidad (0 a -10, -10 a -25, -25 a -55 y -55 a -115), y en las Figuras 1 a 4 se representan los gráficos biplot originados por los ejes 1 y 2 de cada una de las profundidades, para las distribuciones de variables y sitios.

Tabla 3. Componentes principales (Eje I) para cada profundidad (cm).

Variables / Profundidad (cm)	0-10	10-25	25-55	55-115
DAP (diámetro altura de pecho)	-0,25	0,24	0,27	0,25
H (altura de fuste)	-0,30	0,30	0,33	0,30
Arena	-0,30	0,31	0,28	-0,29
Limo	-0,31	0,31	0,35	0,31
Arcilla	0,31	-0,31	-0,34	-0,30
Da (Densidad aparente del suelo)	-0,28	0,31	0,35	0,31
pH	-0,25	0,30	0,33	0,28
MOS (materia orgánica del suelo)	0,30	-0,17	-0,33	0,25
Ca ²⁺	0,31	-0,27	-0,20	-0,28
Na ⁺	-0,29	0,29	-0,17	-0,30
CE (conductividad eléctrica)	-0,31	0,31	0,11	-0,31
RAS (relación de adsorción de sodio)	-0,26	0,30	0,29	0,28

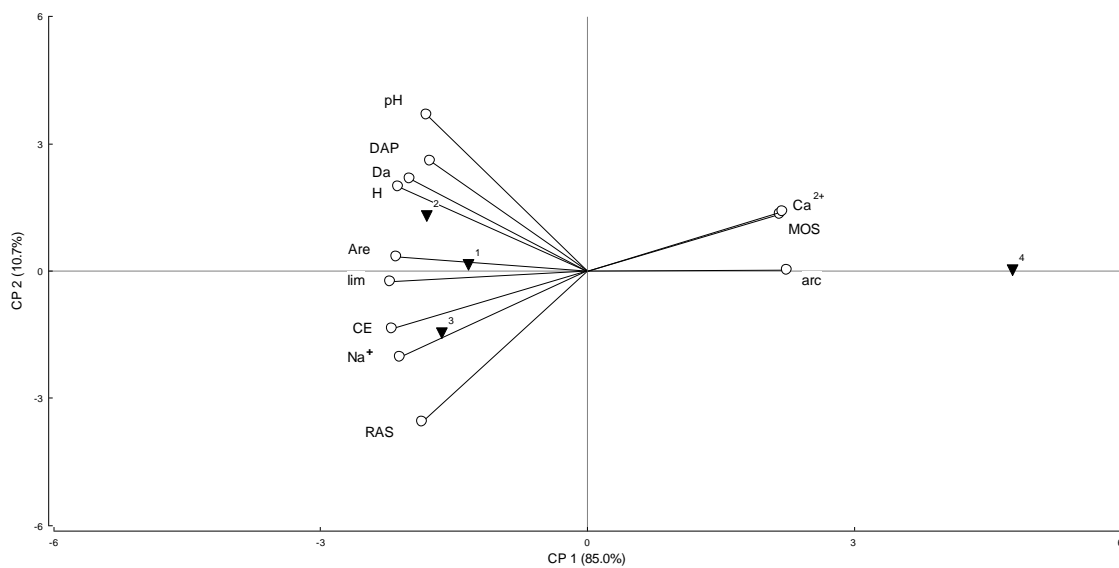


Figura 1. Resultados del análisis de Componentes Principales; se indican los sitios y las variables estudiadas para la profundidad 0 a -10 cm.

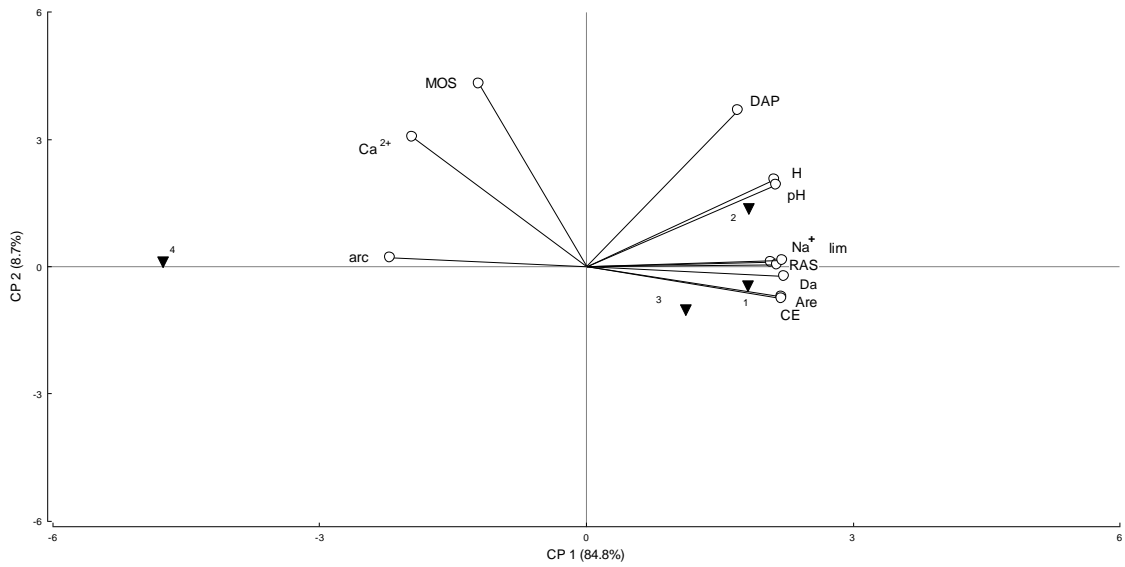


Figura 2. Resultados del análisis de Componentes Principales; se indican los sitios y las variables estudiadas para la profundidad -10 cm a -25 cm.

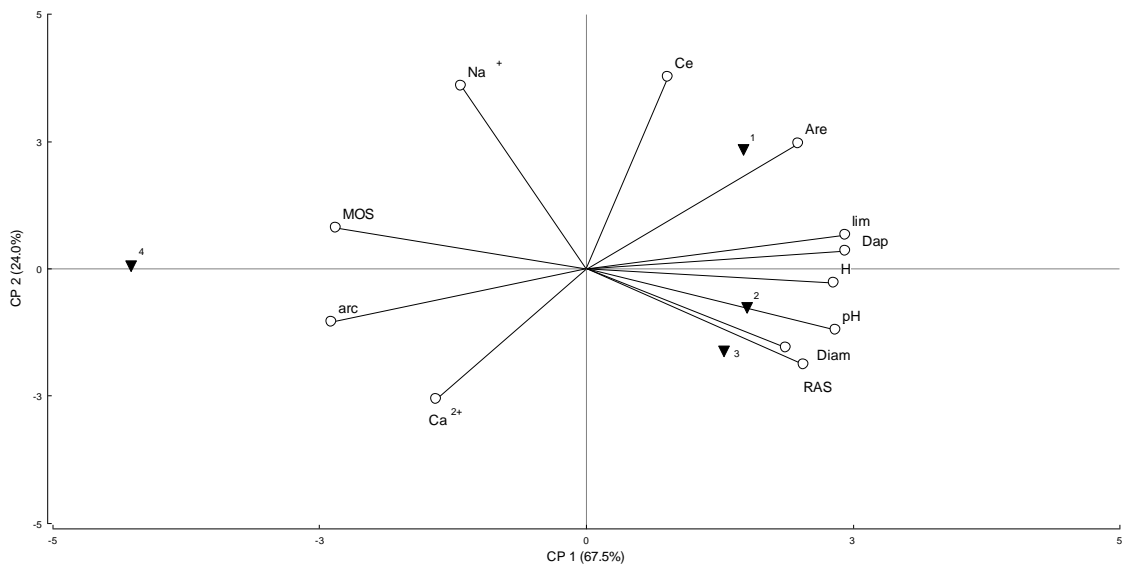


Figura 3. Resultados del análisis de Componentes Principales; se indican los sitios y las variables estudiadas para la profundidad de -25 cm a -55 cm.

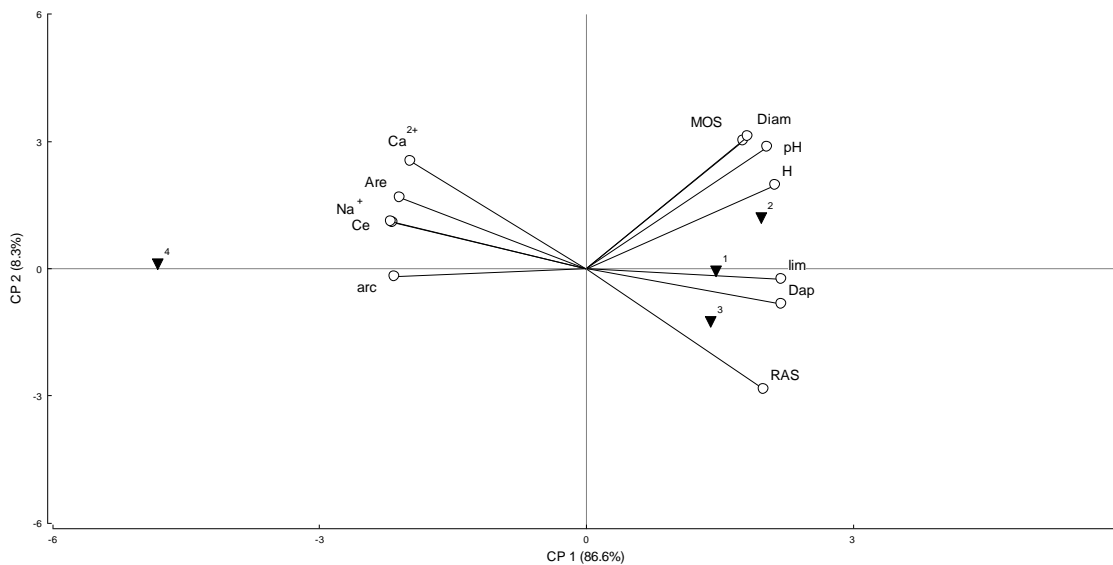


Figura 4. Resultados del análisis de Componentes Principales; se indican los sitios y las variables estudiadas para la profundidad -55 cm a -115 cm.

Densidad aparente (Da). Esta variable presentó interacción entre sitio x profundidad. Los valores más altos ($1,35 \pm 0,01 \text{ kg dm}^{-3}$) se encuentran a partir de los -25 cm de profundidad en los sitios 1, 2 y 3, variando significativamente con la profundidad. Se observa que el suelo 4, más arcilloso, tiene una Da significativamente más baja, encontrándose la mayor Da entre -10 cm a -25 cm ($1,23 \pm 0,01 \text{ kg dm}^{-3}$).

Porosidad capilar (Pmc). Consecuentemente con lo anterior, el horizonte superficial es significativamente más poroso ($P < 0,05$) con valores superiores al 50 %, siendo el de menor porosidad el horizonte de -25 cm a -5 cm, no detectándose interacciones entre sitio x profundidad.

pH (agua). En general en cada sitio se registran los valores significativamente más altos en profundidad, en especial en el horizonte situado entre -55 cm y -115 cm, pero no se detectaron interacciones entre sitio x profundidad.

Materia orgánica del suelo (MOS). Su porcentaje decrece significativamente con la profundidad, bajando a los -55 cm a valores de 1,0 % y menores. El sitio 4 es el que tiene los mayores porcentajes significativos de MOS en los tres primeros horizontes ($5,1 \pm 0,18 \%$; $3,0 \pm 0,18 \%$; $1,9 \pm 0,18 \%$) atendiendo a su característica móllica; por el contrario, el sitio 3 fue el que presentó los más bajos contenidos significativos de MOS en el perfil edáfico ($3,7 \pm 0,18 \%$; $1,6 \pm 0,18 \%$; $1,1 \pm 0,18 \%$ y $0,6 \pm 0,18 \%$). Los sitios 1 y 2 tuvieron un contenido intermedio y similar entre sí. Se obtuvieron diferencias significativas para la interacción sitio x profundidad.

Calcio de cambio (Ca^{2+}). La concentración de Ca^{2+} se va incrementando hasta llegar a los -25 cm a -55 cm de profundidad, manteniendo valores similares a partir de esa profundidad. No se detectó interacción de sitio x profundidad.

Potasio de cambio (K^+). El sitio 4 es el que presenta los valores significativamente más altos de K^+ de cambio en superficie ($1,08 \pm 0,07 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$), descendiendo en profundidad hasta $0,44 \pm 0,07 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$. En el sitio 2 presenta un comportamiento similar, aunque con concentraciones de potasio más bajas. Los sitios 1 y 3 presentan una escasa variación del K^+ en el perfil, mostrando a la profundidad de 0-10 cm ($0,63 \pm 0,07 \text{ cmol K}^+ \text{ kg}^{-1}$ y $0,83 \pm 0,07 \text{ cmol K}^+ \text{ kg}^{-1}$ respectivamente). Los contenidos de K^+ en el perfil edáfico mostraron interacción de sitio x profundidad.

Sodio de cambio (Na^+). En los horizontes superficiales de todos los sitios estudiados se hallaron valores cercanos a $1,8 \pm 0,74 \text{ cmol}_c \text{ Na}^+ \text{ kg}^{-1}$, sin detectarse diferencias significativas entre ellos.

En el sitio 4 la concentración de Na^+ se incrementó hasta $18,4 \pm 0,74 \text{ cmol}_c \text{ Na}^+ \text{ kg}^{-1}$ en el horizonte -55 cm a -115 cm. Se presenta interacción de sitio x profundidad.

Conductividad eléctrica (CE). En superficie los mayores valores se registraron en los sitios 1, 2 y el 3, significativamente más bajo en el sitio 4. En profundidad el valor más alto de CE se halló en el sitio 4 a la profundidad de -55 cm a -115 cm ($2,6 \pm 0,17 \text{ dS m}^{-1}$). Esta variable presentó diferencias significativas entre en las interacciones sitio x profundidad.

Relación de adsorción de sodio (RAS). El valor significativamente más alto de la RAS se detectó en el sitio 3 ($21 \pm 1,7$), seguido de los sitios 1 y 2 ($16 \pm 1,7$), todos ellos a la profundidad de -55 cm a -115 cm. Estos valores fueron diferentemente significativos en la interacción sitio x profundidad.

4. DISCUSIÓN

Los resultados aquí expuestos indican que a la profundidad de 0 cm a -10 cm existe, en los sitios 1 y 2, una asociación directa entre la altura de fuste con el pH y la densidad aparente. El sitio 3 se relaciona con la concentración de Na^+ , y el sitio 4 está fuertemente asociado a los porcentajes de arcilla, concentraciones de Ca^{2+} y materia orgánica del suelo. Se encuentra una asociación entre los datos dasométricos considerados y la variación de la concentración salina superficial, de acuerdo a lo reportado por Carnevale *et al.* (2004).

El análisis de los componentes principales (Figura 1) muestra que el horizonte superficial (0 cm a -10 cm) queda definido por la CE y limo (donde se agrupan los sitios 1, 2 y 3) y de manera opuesta por los contenidos de Ca^{2+} de cambio y arcilla (donde queda ubicado el sitio 4). Un exceso de arcilla, aunque quede relacionado con el tenor de MOS, es negativo para el crecimiento de la especie (sitio 4) de acuerdo con Patiño *et al.* (1994).

El estrato de -10 cm a -25 cm queda definido principalmente por la Da, CE, arena y limo, agrupando los sitios 1, 2 y 3; mientras que de manera opuesta por el porcentaje de arcilla (Figura 2). También un exceso de arcilla perjudica el crecimiento de la especie (sitio 2), asociado con un alto pH y Na^+ de cambio, resaltando la importancia de las condiciones de halomorfismo, de acuerdo con lo reportado por (Heredia *et al.*, 2006). La densidad aparente media en superficie para el sitio 2 es de $1,2 \text{ kg dm}^{-3}$ (siendo la porosidad en torno al 50 %), valores que permiten la germinación-emergencia de las plántulas de quebracho. En el sitio 4 las variables que más intervienen en la CP1 son el porcentaje de arcilla y el Ca^{2+} determinantes a esta profundidad. Por tanto, a la profundidad de -10 cm a -25 cm las propiedades físicas del suelo siguen manifestando su influencia, aun cuando se produce un abrupto cambio de textura (Tabla 1).

En el estrato -25 cm a -55 cm las variables de mayor peso son la Da y contenido en limo las cuales agrupan a los sitios 1, 2 y 3, seguida en forma negativa por el porcentaje de arcilla (Figura 3). Siguen siendo las propiedades físicas las que marcan la calidad del sitio, conjuntamente con un alto pH y RAS. En esta profundidad se pueden separar el sitio 1 del 2 y 3 al analizar el CP2 (que explica el 24 % de la variabilidad), el cual queda definido por el Na^+ y la CE. El sitio 1 por su mayor densidad aparente ($1,35 \pm 0,01 \text{ kg dm}^{-3}$) y en el sitio 4 la altura del fuste y el diámetro altura de pecho se asocian negativamente con los contenidos de arcilla y a la materia orgánica edáfica.

Y en la profundidad de -55 cm a -115 cm se observa que se asocian la altura de fuste y el diámetro altura de pecho, al pH y a la densidad aparente en los sitios 1 y 2; y a la densidad aparente y a la relación de adsorción de sodio, en el sitio 3. Mientras que en el sitio 4 dicha asociación se manifiesta con los porcentajes de arcillas y las concentraciones de cationes de cambio (Ca^{2+} y Na^+) y, consecuentemente a la conductividad eléctrica (Figura 4).

5. CONCLUSIONES

Las propiedades edáficas condicionantes para la implantación de forestaciones con quebracho colorado chaqueño en la Ecorregión del Parque Chaqueño Húmedo son, en los horizontes superficiales el Ca^{2+} de cambio, la salinidad y la conductividad eléctrica, que afectarían a la instalación y crecimiento del quebracho colorado chaqueño. En profundidad se relaciona a un aumento en el porcentaje de arcilla principalmente, seguidos por el Na^+ y Ca^{2+} de cambio, que condicionarían su desarrollo. Por tanto, queda comprobada la hipótesis inicial que en los horizontes superficiales las propiedades edáficas se asocian principalmente con las propiedades químicas del suelo, en cambio, las propiedades físicas tienen preponderancia a mayor profundidad del perfil del suelo.

Agradecimientos:

Especial reconocimiento a la Secretaría General de Ciencia y Técnica de la Universidad Nacional del Nordeste (SGCyT-UNNE) por financiar los diferentes proyectos que hicieron posible la obtención de la información para la concreción del presente trabajo.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barberis, I. M.; J. P. Lewis y W. B. Batista. 2005. Heterogeneidad estructural de los bosques de la Cuña Boscosa de Santa Fe en distintas escalas espaciales. En *La heterogeneidad de la vegetación de los agroecosistemas: Un homenaje a Rolando León*. Buenos Aires, Argentina. Editorial Facultad de Agronomía, UBA. p. 43-58.
- Barberis, I. M.; V. Mogni; L. Oakley; C. Alzugaray; L. Vesprini y D. E. Prado. 2012. Biología de especies australes: *Schinopsis balansae* Engler (Anacardiaceae). *Kurtziana*. 37(2):59-86.
- Barrett, W.H. 1997. *Antecedentes y situación actual del cultivo del quebracho colorado en el Chaco Argentino*. Buenos Aires, Argentina. Unión de Tanineras (UNITAN). 16 p.
- Bruniard, E. D. 2000. Los regímenes climáticos y la vegetación natural. Aportes para un modelo fitoclimático mundial. Buenos Aires, Argentina. *Academia Nacional de Geografía. Publicación Especial N° 16*. 79 p.
- Carnevale, N. J.; C. Alzugaray y D. López. 2004. Efecto de la salinidad sobre el establecimiento de plántulas de dos especies arbóreas dominantes en un quebrachal de *Schinopsis balansae* Engl. (Argentina). *Revista de Investigaciones, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Rosario* VI: 1-6. (Comunicación Breve).
- Di Rienzo, L. A.; F. Casanoves; M. G. Balzarini; L. González; M. Tablada y C. W. Robledo. 2012. *Infostat versión 2011*. Grupo Infostat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Disponible en: <http://www.infostat.com.ar>.
- EEA, INTA Presidencia Roque Sáenz Peña. 2012. *Datos disponibles de las casillas meteorológicas*. INTA, Regional Chaco-Formosa, Argentina. Disponible en: <http://inta.gob.ar/documentos/datos-obtenidos-de-las-casillas-meteorologicas>.
- Heredia, O. S.; L. Giuffré; F. J. Gorleri; y M. E. Conti. 2006. Calidad de los suelos del norte de Santa Fe. Efecto de la geomorfología y el uso de la tierra. *Ciencia del Suelo (Argentina)* 24 (2):109-114.
- Lebedeff, N. 1933. Contribución al conocimiento de los bosques en la República Argentina. Algunas observaciones sobre los bosques Chaqueños. Buenos Aires, Argentina. En: *Ministerio de Agricultura de la Nación. Dirección de Tierras*. 43p. (Publicación N° 3).
- Ledesma, L. L. y J. J. Zurita. 1995. *Los Suelos de la Provincia del Chaco*. Convenio INTA y Ministerio de La Producción. Provincia del Chaco, República Argentina. 164 p.
- Marino, G. D. y J. F. Pensiero. 2003. Heterogeneidad florística y estructural de los bosques de *Schinopsis balansae* (Anacardiaceae) en el sur del Chaco Húmedo. *Darwiniana*. 41(1-4):17-28.

- Montenegro González, H.; D. Malagón Castro y I. Guerrero. 1990. *Propiedades físicas de los suelos*. Subdirección Agrológica, Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Bogotá, Colombia. 813 p.
- Morello, J.; W. Pengue y A. Rodríguez. 2007. Un siglo de cambios de diseño del paisaje: El chaco argentino. En: Matteucci S.D. ed. *Panorama de la ecología de paisajes en Argentina y países sudamericanos*. Buenos Aires, Argentina. Ediciones INTA. 490 p.
- Morello, J. 2012. *Ecorregiones y complejos ecosistémicos argentinos. Ecorregión Chaco Húmedo*. En: Morello J.; Matteucci S. y Rodríguez A. eds. Buenos Aires, Argentina. Grupo de Ecología del Paisaje y Medio Ambiente, UBA. Primera edición. Orientación Gráfica Editora. 752 p.
- Patiño, C. A.; H. J. R. Reboratti y P. Delvalle. 1994. Rendimiento maderable de plantaciones de Quebracho Colorado Chaqueño (*Schinopsis balansae*) en suelos arcillosos del Chaco Oriental. *RIA, INTA* 25(2):115-127.
- Popolizio, E.; P. Y. Serra y G. O. Hortt. 1978. Bajos submeridionales. Grandes unidades taxonómicas de Santa Fe. Chaco, Argentina. *Centro de Geociencias Aplicadas, Serie C, Investigación*. Resistencia 205 p.
- Prause, J. y M. J. Marinich. 2000. Evaluación de la actividad radical en *Schinopsis balansae* Engler empleando 32P. *Agricultura Técnica*.(60-4):423-429. Chile.
- Sparks, D. I. (Editor in Chief). 1996. *Methods of Soil Analysis*. Part 3. *Chemical Methods*. Soil Science Society of America, Inc. Madison, W. USA.
- Strahler, A. N. y A. H. Strahler. 1997. *Geografía Física*. Tercera edición. Omega. Barcelona, España. 550 p.
- Valentini, A. 1960. La reforestación con quebracho colorado y algunas normas silvícolas relacionadas con su aprovechamiento racional. *Bonplandia*1:51-69.

