

## Capítulo 15

### Caracterización química de los suelos del Bosque de Fray Jorge.

IVÁN E. FERNÁNDEZ

#### RESUMEN

Muestras de suelos provenientes de tres áreas del Bosque Fray Jorge, IV Región de Coquimbo, fueron evaluadas en el transcurso de tres años, estas presentaron valores elevados de materia orgánica, mostrando una relación entre estos contenidos y los niveles de NPK, así como en los valores de intercambio y reacción de los suelos. La dinámica de incorporación es lenta demostrada por la relación C/N en hojarasca y en muestras de suelos. Si consideramos que la disponibilidad de elementos depende de los factores formadores de suelos, como son la vegetación, topografía, organismos del suelo, clima y material parental, estos suelos en particular deberían ser considerados adecuados para mantener el bosque. Se concluye que las muestras de suelos evaluadas tienen un buen potencial de fertilidad, y que el reciclaje aún cuando lento podría ser adecuado para la mantención de la actividad forestal del Bosque Fray Jorge.

**Palabras Clave:** Nutrientes, hojarasca, fertilidad de suelos, ciclo de nutrientes.

#### INTRODUCCIÓN

El ciclaje de nutrientes es uno de los aspectos fundamentales para la manutención de la productividad forestal, como fenómeno es afectado por las técnicas de manejo de suelos y las correspondientes a manejo silvicultural (Attiwill 1968, Poggiani 1985, Reis et al.1990).

En términos generales, la dinámica de nutrientes para un suelo considera la entrada y salida de nutrientes al ecosistema suelo, esto puede generarse por intemperismo y alteración de materiales inorgánicos, así como por la descomposición de materiales orgánicos presentes en los suelos (Jordan & Kline 1972, Novais & Smyth 1999). Otros mecanismos de entrada están dados por la precipitación, fijación o incorporación de elementos (Jordan & Kline 1972, Reis et al.1990). Las pérdidas pueden deberse a lixiviación, erosión, volatilización o exportación de nutrientes en la retirada de biomasa (Castro et al. 1986, Novais & Smyth 1999), así como por la incorporación de materia orgánica al suelo (Buol et al. 1973, Tisdale & Nelson 1991, Bevege 1978). La disponibilidad de elementos depende de los factores formadores de suelos, como la vegetación, topografía, organismos del suelo, clima y material parental (Buol et al. 1973). En la dinámica de nutrientes, deben ser consideradas como condiciones de la superficie del suelo, la erosión y el drenaje (Reis et al.1990).

La evaluación de la profundidad, horizontalización o aploidización, capacidad de retención de agua, permeabilidad, densidad, textura y estructura deben ser consideradas entre las condiciones físicas del suelo (Buol et al. 1973). La capacidad de intercambio, reacción del suelo, relación carbono nitrógeno y disponibilidad de elementos deben ser consideradas entre las condiciones químicas (Martini 1970, Philpson & Drosdoff 1978, Buckman & Brady 1979, Reis et al. 1990).

Estudios realizados en el Parque Nacional Bosque Fray Jorge, formulan la hipótesis de la pérdida de la continuidad del bosque, y un retroceso en la regeneración natural. Con el propósito de evaluar los niveles de nutrientes del suelo del Parque Nacional Fray Jorge, se extrajeron muestras en tres áreas que representan: una situación estable del bosque, una situación en degradación y una situación degradada, de tal modo que se puedan establecer comparaciones entre las situaciones caracterizadas, correspondiendo estos antecedentes a valores medios de tres años. Los criterios para determinar las categorías antes señaladas fueron tamaño de los bosquetes, naturaleza de la cobertura vegetal asociada a especies predominantes.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### *Area de estudio*

El Parque Nacional Bosque Fray Jorge tiene un área de 9.959 ha. Geográficamente se localiza en el sector costero de la Provincia del Limarí, Comuna de Ovalle, IV Región de Coquimbo, entre los 30°38' y 30°34' S y los 71°35' a 71°43' O. Al oeste el Parque es atravesado por una franja de cerros costeros denominados Altos de Talinay, con altitud máxima de 667 msnm. Entre los 30°30' y 30°42' S se encuentran formaciones boscosas del tipo Laurifolio de naturaleza relictas en la parte alta de algunos de los cerros, cubriendo una distancia aproximada de 22 km. La especie dominante es olivillo (*Aextoxicon punctatum* Ruiz et Pav). La preexistencia de este bosque relicto estaría determinada por el mesoclima que generan las neblinas costeras en la cima de los cerros (Philippi 1884). La precipitación promedio anual al interior del Parque en los últimos 30 años es de 85 mm (Gutiérrez et al. 1993). Presenta una humedad relativa media del 85% con un rango térmico que va entre 7 °C en invierno hasta 23 °C en verano. La condensación de la neblina podría superar los niveles de agua aportada por las lluvias invernales, estimándose valores cercanos a los 1.000 mm anuales (Kummerow 1966, ver Capítulos 2 y 16). La periodicidad de los patrones de precipitaciones en la región son de 3-4 años aproximadamente. Estudios han mostrado que un año muy lluvioso por lo general es seguido por 2-3 años de lluvias escasas (Armesto et al. 1993, Gutiérrez & Meserve 2003). Evaluaciones pluviométricas del bosque para los últimos diez años, muestra años secos, años normales y años con precipitaciones superiores a 200 mm asociados al fenómeno de "El Niño" (Gutiérrez & Meserve 2003). Al interior del bosque, la disponibilidad de agua y diferencia de humedad determina dos asociaciones vegetales básicas: para los sectores de mayor humedad, se presenta la asociación *Aextoxicon punctatum* - *Drimys winteri* - *Myrceugenia correifolia*. Para el sector de menor humedad la asociación está constituida por *Aextoxicon punctatum* - *Myrceugenia correifolia*, con localización norte.

### *Toma de muestras de hojarasca y de suelos*

Al interior del bosque se eligieron tres áreas: bosque conservado (A1), reconocido como "El Solón", ubicado en el extremo sur del bosque, sector que presenta

fragmentos superiores a 80 m de diámetro y corresponden a los de mayor tamaño y mayor grado de conservación; bosque con fragmentos intermedio (A2), conocido como “Sendero de Interpretación”, sector que presenta fragmentos de bosque entre 30 y 60 m de diámetro; y bosque fragmentado (A3) correspondiente al extremo norte del bosque y donde se realizaron las acciones de reforestación (ver Capítulo 18). Este último sector presenta fragmentos de bosque de olivillo inferior a 25 m de diámetro, y corresponden a los de menor tamaño y menor grado de conservación, determinado por el número de especies, cobertura y estructura.

La toma de muestra se realizó cada 4 meses (M1= junio, M2= septiembre, M3= diciembre y M4= marzo) por estación de crecimiento, entre junio de 1998 y marzo de 2001. En las tres áreas de trabajo (A1, A2 y A3), se tomaron muestras de hojarasca, y de suelos a tres profundidades, 0-10 cm (P1), 10-20 cm (P2) y 20-60 cm (P3).

#### *Caracterización química y física de las muestras de suelo*

Las muestras de fueron secadas y estabilizadas, tamizadas a  $<2\text{mm}$  y homogeneizadas. La determinación de materia orgánica total en la hojarasca fue efectuada por pérdida por calcinación, el carbono orgánico por oxidación con ácido sulfúrico dicromato de potasio, determinación volumétrica, y nitrógeno total por método Kjeldhal.

La caracterización química de las muestras de suelo comprendió determinación de pH en agua y en KCl 1mol/L (1:2,5) (Embrapa 1997), fósforo disponible extractor Bray-1, determinándose por espectroscopia de absorción molecular por formación de complejo fosfomolibdico (Bray & Kurtz 1945), potasio, calcio y magnesio extraídos por acetato de amonio 1 mol/L, determinándose potasio por fotometría de llama (Jackson 1979), calcio y magnesio por espectrofotometría de absorción atómica (Jackson 1979), hierro, cobre, manganeso y zinc fueron determinados por espectroscopia de absorción atómica (Jackson 1974), carbono orgánico y materia orgánica fueron determinados por Walkley-Black (Jackson 1979) y nitrógeno por método de Kjeldhal (Jackson 1979).

Para la caracterización física se realizaron análisis de composición textural por el método de Bouyoucos (Embrapa 1997), capacidad de campo por el método de la columna transparente (Fernandes & Sykes 1968) y densidad aparente (Embrapa 1997).

## **RESULTADOS Y DISCUSION**

#### *Características química de la hojarasca*

En la Tabla 1 se muestran los valores promedio de materia orgánica, carbono orgánico, nitrógeno total y relación carbono / nitrógeno (C/N) en la hojarasca, para los tres sitios y 4 fechas. El promedio ( $\pm$  EE) total de estos parámetros son: materia orgánica =  $86,1 \pm 1,8$ , carbono orgánico =  $59,4 \pm 1,6$ , nitrógeno total =  $0,86 \pm 0,02$  y C/N =  $59,5 \pm 1,6$  (Tabla 1).

#### *Características químicas del suelo*

La Materia Orgánica presenta diferencias significativas para estación, áreas y profundidad, mientras que el nitrógeno total y disponible por área y profundidad

(Tabla 1). La materia orgánica se correlaciona significativamente con nitrógeno total ( $r^2 = 0,77$ ) y este último con nitrógeno disponible ( $r^2 = 0,79$ ). Se puede inferir que el Solón (A1), presenta los niveles de nitrógeno más elevados en comparación a las arreas más fragmentadas (A2 y A3).

Al tomar en consideración los valores medios de materia orgánica, así como los valores medios de carbono orgánico y nitrógeno presentes en la hojarasca y la relación C/N de la misma, se puede inferir que la mayor incorporación de nitrógeno y nutrientes al suelo es en el área más conservada (Tabla 1). Estudios realizados sobre la calidad química de hojarasca y grado de mineralización potencial de nitrógeno en bosque de “olivillo” (*Aextoxicon punctatum*) han demostrado una relación entre la calidad química y la esclerofilia en las hojas de “olivillo”, y el grado de mineralización de nitrógeno (Pérez 1994).

#### *Acidez activa y potencial*

Los valores de pH en agua acidez activa y pH en KCl acidez potencial muestran diferencia, los valores de pH en KCl se observan menores que los observados en pH en agua (Tablas 2 a 5). La diferencia entre acidez activa y potencial, puede ser un indicador de la naturaleza de arcillas y de índice de descomposición e incorporación de materia orgánica al suelo. Los valores de pH determinados en agua y en KCl, para las muestras extraídas en diferentes meses del año son significativamente diferentes, así como en profundidad, indicando una tendencia a elevar el potencial de hidrógeno en la medida que aumentan los niveles de materia orgánica. Esto se observa en la profundidad 20 a 60 cm (P3) donde los valores de pH se muestran mayores.

La acidez elevada es producto de la materia orgánica, al promover la formación de ácidos húmicos y fúlvicos, predominando los ácidos húmicos (Fernández & Hidalgo en prep., Fernández 1993, Dalvin 1981). Evaluaciones efectuadas en suelos ácidos con pH menor a cinco han demostrado la acumulación de materia orgánica. Esto se puede deber a que el pH incide en el contenido y composición de los microorganismos del suelo, que da por resultado una menor eficiencia a la mineralización (Sombroex 1966).

En primavera la tendencia se invierte lo que podría estar relacionado con el aumento en la actividad de las poblaciones de microorganismos, así como con la eficiencia de mineralización, situación que se puede observar en los contenidos de nitrógeno total en verano. Estudios han demostrado que la acumulación de materia orgánica y fraccionamiento de ácidos orgánicos están relacionados con la composición de microorganismos del suelo (Sombroex 1966, Dalvin 1988).

#### *Calcio y magnesio*

Los niveles de calcio y de magnesio se observan diferentes en cuanto a áreas de estudio y profundidad, en las áreas consideradas de mayor degradación tienen mayores contenidos de calcio disponible (Tablas 2 a 5). La dinámica de calcio está estrechamente relacionada a la de magnesio ( $r^2 = 0,68$ ). Los niveles de azufre expresado como sulfato sigue la misma tendencia, una dinámica común encontrada en suelos de áreas forestales producto de la lixiviación y procesos de descomposición. En este caso para los suelos de áreas más degradadas podría significar un buen indicador.

**Tabla 1.** Valores promedio de Materia orgánica, carbono, nitrógeno y relación carbono / nitrógeno para muestras de hojarasca del Parque Nacional Bosque Fray Jorge. Areas: 1= El Solón, 2= Sendero de Interpretación y 3= Norte. Las muestras corresponden al promedio de los meses de junio (M1), septiembre (M2), diciembre (M3) y marzo (M4). El periodo de muestro fue entre junio de 1998 a marzo de 2001.

	Area 1				Area 2				Area 3				Promedio ± EE
	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	M <sub>4</sub>	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	M <sub>4</sub>	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	M <sub>4</sub>	
Materia Orgánica <sup>1</sup>	94,2	91,1	93,8	93,1	91,8	83,3	83	85,3	79,2	79,1	79,4	80,2	86,1 ± 1,8
Carbono Orgánico <sup>2</sup>	49,7	58	51,4	53,2	62,7	59,1	61	59,3	62,3	65,7	63,4	67,2	59,4 ± 1,6
Nitrógeno Total <sup>3</sup>	1,02	0,83	0,96	0,89	0,82	0,84	0,79	0,92	0,79	0,81	0,79	0,82	0,86 ± 0,02
Relación C/N	50,7	58	51,4	53,2	62,7	59,1	61	59,3	62,3	65,7	63,4	67,2	59,5 ± 1,6

<sup>1</sup> Pérdida por Calcincación

<sup>2</sup> H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>

<sup>3</sup> Kjeldhal

**Tabla 2.** Características químicas promedio de las muestras de suelo colectadas a tres profundidades en tres sectores del Parque Nacional Bosque Fray Jorge durante la estación de invierno (promedio de tres años: junio 1998 a 2000). Areas: 1= El Solón, 2= Sendero de Interpretación y 3= Norte. Profundidades: P1=0-10 cm, P2=10-20 cm y P3=20-60 cm. Métodos de extracción y análisis indicados en la metodología.

	Area 1			Area 2			Area 3			Promedio ± EE
	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	
pH H <sub>2</sub> O (1:2,5)	4,06	4,1	4,42	4,48	4,65	4,8	4,54	4,18	4,35	4,40±0,07
pH KCl 1mol/L (1:2,5)	3,82	3,83	4,15	4,08	4,39	4,43	4,07	3,81	3,93	4,06±0,07
Ca (dag/kg)	0,25	0,08	0,04	0,38	0,14	0,06	0,17	0,05	0,09	0,14±0,03
Mg (dag/kg)	0,14	0,09	0,08	0,07	0,12	0,02	0,04	0,02	0,02	0,07±0,01
Sulfato (mg/dm <sup>3</sup> )	247	198	108	229	208	136	150	126	61	163±18
Fe (mg/dm <sup>3</sup> )	67	295	171	27	70	160	115	217	214	148±25
Cu (mg/dm <sup>3</sup> )	1,1	0,6	0,5	0,7	0,4	0,3	1	0,4	0,3	0,6±0,1
Mn (mg/dm <sup>3</sup> )	52	22	6	81	49	20	57	48	21	40±7
Zn (mg/dm <sup>3</sup> )	50	18	5	45	22	15	48	6	5	24±5
B (mg/dm <sup>3</sup> )	2,47	2,05	1,24	3,66	1,54	1,3	2,94	1,71	1,38	2,0±0,2
P (mg/dm <sup>3</sup> )	156	103	64	132	100	58	93	75	36	91±11
K (mg/dm <sup>3</sup> )	243	136	83	445	216	131	214	131	99	189±32
N (mg/dm <sup>3</sup> )	127	93	56	128	69	47	88	75	35	80±9
N (dag/kg)	1,13	0,57	0,29	0,92	0,42	0,27	0,74	0,29	0,15	0,53±0,10
Relación C/N	18,61	18,97	15,44	20,67	23,17	20,01	23,83	26,48	25,39	21,40±1,03
Materia Orgánica (dag/kg)	37,5	17,6	9,8	28,7	15,3	9,3	24	12	7,1	17,9±3,0

**Tabla 3.** Características químicas promedio de las muestras de suelo colectadas a tres profundidades en tres sectores del Parque Nacional Bosque Fray Jorge durante la estación de primavera (promedio de tres años: septiembre 1998 a 2000). Áreas: 1= El Solón, 2= Sendero de Interpretación y 3= Norte. Profundidades: P1= 0-10 cm, P2= 10-20 cm y P3= 20-60 cm. Métodos de extracción y análisis indicados en la metodología.

	Area 1			Area 2			Area 3			Promedio ± EE	
	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3		
pH H <sub>2</sub> O (1:2,5)	4,94	4,78	4,78	5,02	5,13	5,03	5,08	4,8	4,83	4,9±	0,0
pH KCl 1mol/L (1:2,5)	4,44	4,3	4,21	4,7	4,59	4,43	4,63	4,11	4,14	4,4±	0,1
Ca (dag/kg)	0,52	0,1	0,05	0,44	0,2	0,08	0,14	0,07	0,09	0,2±	0,0
Mg (dag/kg)	0,17	0,05	0,03	0,18	0,07	0,05	0,14	0,07	0,07	0,1±	0,0
Sulfato (mg/dm <sup>3</sup> )	341	465	235	559	292	211	330	275	280	332,0±	32,4
Fe (mg/dm <sup>3</sup> )	81	278	105	15	91	85	19	84	96	94,9±	21,9
Cu (mg/dm <sup>3</sup> )	0,8	0,6	0,5	0,7	0,3	0,2	0,7	0,4	0,2	0,5±	0,1
Mn (mg/dm <sup>3</sup> )	106	53	13	110	83	63	63	53	19	62,6±	9,7
Zn (mg/dm <sup>3</sup> )	13	3	2	17	3	1	14	2	1	6,2±	1,9
B (mg/dm <sup>3</sup> )	2,19	1,61	0,76	2,71	1,82	1,69	2,69	1,9	1,65	1,9±	0,2
P (mg/dm <sup>3</sup> )	74	114	89	51	70	56	39	20	16	58,8±	9,2
K (mg/dm <sup>3</sup> )	486	242	251	613	385	157	497	378	343	372,4±	41,5
N (mg/dm <sup>3</sup> )	177	111	81	165	76	50	139	65	27	99,0±	15,1
N (dag/kg)	1,93	0,54	0,35	1,01	0,58	0,23	0,8	0,55	0,34	0,7±	0,1
Relación C/N	21,81	15,01	18,34	23,55	16,12	23,97	21,95	21,62	18,21	20,1±	0,9
Materia Orgánica (dag/kg)	24,9	8,8	6,7	27,2	11,3	6,5	21,8	13,1	7	14,1±	2,4

**Tabla 4.** Características químicas promedio de las muestras de suelo colectadas a tres profundidades en tres sectores del Parque Nacional Bosque Fray Jorge durante la estación de verano (promedio de tres años: diciembre 1998 a 2000). Areas: 1= El Solón, 2= Sendero de Interpretación y 3= Norte. Profundidades: P1= 0-10 cm, P2= 10-20 cm y P3= 20-60 cm. Métodos de extracción y análisis indicados en la metodología.

	Area 1			Area 2			Area 3			Promedio ± EE	
	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3		
pH H <sub>2</sub> O (1:2,5)	4,09	4,33	4,48	4,49	4,76	4,8	4,64	4,48	4,63	4,5+	0,1
pH KCl 1mol/L (1:2,5)	4,03	4,21	4,29	4,39	4,41	4,5	4,4	4,14	4,33	4,3+	0,0
Ca (dag/kg)	0,25	0,1	0,08	0,14	0,1	0,08	0,18	0,05	0,03	0,1+	0,0
Mg (dag/kg)	0,1	0,05	0,03	0,08	0,03	0,02	0,08	0,05	0,03	0,1+	0,0
Sulfato (mg/dm <sup>3</sup> )	333	307	177	459	208	216	202	182	73	239,7+	32,2
Fe (mg/dm <sup>3</sup> )	26	215	236	32	79	98	66	116	136	111,6+	21,4
Cu (mg/dm <sup>3</sup> )	1,1	0,8	0,4	1,1	0,4	0,4	1,1	0,4	0,4	0,7+	0,1
Mn (mg/dm <sup>3</sup> )	58	27	13	51	56	26	34	49	51	40,6+	4,6
Zn (mg/dm <sup>3</sup> )	7	3	3	7	2	2	7	3	2	4,0+	0,7
B (mg/dm <sup>3</sup> )	2,18	1,73	1,31	4,06	1,61	1,09	4,08	3,53	1,96	2,4+	0,3
P (mg/dm <sup>3</sup> )	74	71	47	74	89	70	64	59	49	66,3+	3,8
K (mg/dm <sup>3</sup> )	416	235	157	640	311	240	578	256	182	335,0+	50,0
N (mg/dm <sup>3</sup> )	135	91	39	84	75	57	108	69	39	77,4+	9,1
N (dag/kg)	1,54	0,91	0,58	1,06	0,52	0,4	0,94	0,4	0,21	0,7+	0,1
Relación C/N	24,75	17,61	14,29	29,09	18,38	15,97	25,55	19,83	17,49	20,3+	1,4
Materia Orgánica (dag/kg)	55,9	20,8	10,9	40,9	15,6	8,5	25,9	10	7,4	21,8+	4,8

**Tabla 5.** Características químicas promedio de las muestras de suelo colectadas a tres profundidades en tres sectores del Parque Nacional Bosque Fray Jorge durante la estación de otoño (promedio de tres años: marzo 1999 a 2001). Areas: 1= El Solón, 2= Sendero de Interpretación y 3= Norte. Profundidades: P1= 0-10 cm, P2= 10-20 cm y P3= 20-60 cm. Métodos de extracción y análisis indicados en la metodología.

	Area 1			Area 2			Area 3			Promedio ± EE	
	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3		
pH H <sub>2</sub> O (1:2,5)	3,94	4,07	4,24	4,38	4,1	4,71	4,52	4,71	4,51	4,4+	0,1
pH KCl 1mol/L (1:2,5)	3,85	3,75	3,81	4,26	3,61	4,58	4,29	4,17	4,34	4,1+	0,1
Ca (dag/kg)	0,19	0,09	0,05	0,23	0,11	0,07	0,31	0,18	0,08	0,1+	0,0
Mg (dag/kg)	0,05	0,03	0,02	0,04	0,02	0,02	0,05	0,04	0,03	0,0+	0,0
Sulfato (mg/dm <sup>3</sup> )	148	190	198	150	166	153	181	181	161	169,8+	5,3
Fe (mg/dm <sup>3</sup> )	154	146	146	110	244	295	26	37	83	137,9+	25,6
Cu (mg/dm <sup>3</sup> )	2,1	1,7	0,7	3	0,5	0,4	1	0,5	0,5	1,2+	0,3
Mn (mg/dm <sup>3</sup> )	41	10	5	63	46	23	36	22	11	28,6+	5,6
Zn (mg/dm <sup>3</sup> )	6	3	2	11	7	4	7	3	2	5,0+	0,9
B (mg/dm <sup>3</sup> )	2,49	1,21	1,45	2,99	2,37	2,46	4,49	4,58	4,17	2,9+	0,4
P (mg/dm <sup>3</sup> )	31	26	21	47	47	32	60	44	32	37,8+	3,6
K (mg/dm <sup>3</sup> )	240	170	150	488	278	288	540	318	228	300,0+	38,5
N (mg/dm <sup>3</sup> )	124	100	119	89	97	56	76	96	83	93,3+	6,0
N (dag/kg)	1,05	0,67	0,43	0,88	0,64	0,4	0,72	0,5	0,42	0,6+	0,1
Relación C/N	24,42	25,99	21,16	33,65	26,52	23,44	33,34	20,01	15,31	24,9+	1,7
Materia Orgánica (dag/kg)	51,2	18,8	15,5	49,8	21,6	12,6	29,2	13	9,6	24,6+	4,6

### *Hierro, cobre, manganeso, zinc y boro*

Los microelementos hierro, cobre, manganeso, zinc y boro tienen una dinámica propia de suelos forestales, con elevados contenidos de materia orgánica e influenciados por los contenidos de agua de infiltración (Barros & Novais 1990). Los menores niveles de hierro se observan a profundidad en P1, lo que puede estar relacionado con los niveles de materia orgánica y cobre ( $r^2= 0,78$ ) y el carácter reductivo y capacidad para complejar hierro a estados de oxidación menores. Niveles de oxidación mayores se presentan a mayores profundidades donde los potenciales electroquímicos serían favorables a la oxidación y menor retención de hierro a mayor profundidad (P3).

Los niveles de cobre, de manganeso, de zinc y de boro son diferentes a los de hierro. Los contenidos de materia orgánica, la capacidad de intercambio de ésta, así como los valores de acidez de los suelos permiten dar cuenta de una mayor disponibilidad de cobre y de zinc por intercambio.

El manganeso es un elemento que tiene las posibilidades de interactuar muy activamente del complejo de intercambio y estar disponible en función del pH y del potencial redox. El boro presenta una mayor concentración en los bosquetes del sector más fragmentado (A3). En contraste, este elemento presenta contenidos menores en los bosques menos fragmentados del Solon (A1) y Sendero de Interpretación (A2), lo que puede constituir un buen indicador para el transporte de fotoasimilados asociado a los niveles de potasio y de fósforo presentes en los suelos.

### *Fósforo*

Los contenidos de fósforo disponible varían significativamente entre las áreas de estudio y según la estación del año en que fueron extraídas las muestras. Los mayores niveles de fósforo disponible se observan en invierno y los menores niveles en otoño esto podría estar relacionado a las formas de fósforo inorgánico ligadas a calcio y a hierro, a su solubilidad en medio ácido y a los contenidos de agua (Thomas & Peaslee 1973, Melhlich 1978). La tendencia mostrada para el fósforo en la estación primavera y verano es semejante para las áreas y profundidades evaluadas. Estudios realizados sobre dinámica de fósforo muestran mayor disponibilidad de este elemento en el área no degradada, independiente de la estación del año (Gianzo & Pizarro 2000). Estos suelos por los niveles de hierro que presentan, deberían poseer altos contenidos de hierro libre asociado a los niveles de materia orgánica en la estación de verano generando compuestos más insolubles y complejos con mayor capacidad de fijación (Thompson 1962). En Fray Jorge, el estrato más superficial (0-10 cm, P1) presenta mayor capacidad de adsorción de fósforo, y en la medida que avanza la degradación disminuye la capacidad de adsorción así como la disponibilidad de este elemento (Gianzo & Pizarro 2000). Los menores valores de fósforo a mayor profundidad (P2 y P3) permiten mostrar una relación existente entre la acidez, humedad y formas disponibles de fósforo (Novais et al. 1990). En general los niveles de fósforo disponibles para las áreas y profundidades descritas pueden verse aumentados en función de los contenidos de materia orgánica, o bien disminuidos por procesos de complejación modificando la concentración de fósforo en la solución del suelo (Moreno et al. 1960, Harter 1969, Holford & Mattingly 1975). Muestras provenientes del Bosque Fray Jorge presentan altas correlaciones

entre los niveles de fósforo total y fósforo remanente con los niveles de fósforo disponible (Gianzo & Pizarro 2000), situación que puede ser explicada en base a la mineralogía de los suelos, en la cual la máxima capacidad de adsorción de fósforo, es dependiente del tipo y clase de arcillas presentes en los suelos (Fernández 1995).

#### *Potasio*

El potasio disponible es menor en las áreas conservadas que las en vías de degradación y su tendencia es a disminuir en la medida que aumenta la profundidad del suelo. Las cargas disponibles para la adsorción de cationes determinan la cantidad de potasio que puede ser retenido en la forma intercambiable y el equilibrio del potasio en la solución (Meurer et al. 1995). Vega (2000) indica que los contenidos de potasio total y potasio fijado en muestras de suelos provenientes del Bosque Fray Jorge aumentan en la medida que aumenta la profundidad de los suelos, en cambio la disponibilidad de potasio se ve disminuida con la profundidad.

#### *Nitrógeno*

Los niveles de nitrógeno total y disponible son diferentes para área de estudio, así como para profundidad. Existe una buena correlación entre los niveles de nitrógeno disponible y la materia orgánica ( $r^2= 0,60$ ) particularmente la presente en el Solón (A1). Los mayores niveles observados en primavera se explicarían por una dinámica estacional asociada a las temperaturas y humedad. La actividad microbiana y las pérdidas de amonio son consecuencia de las temperaturas (De las Salas 1987).

#### *Relación carbono nitrógeno C/N*

La relación carbono nitrógeno C/N (Tablas 2 a 5) muestran diferencias para área, profundidad y estación. En todos los casos los valores son elevados, producto de los bajos índices de descomposición. Los valores observados permiten inferir las dinámicas de descomposición, inmovilización e incorporación. Los menores valores de C/N están en El Solón (A1), área que presenta los mayores niveles de materia orgánica. La variación estacional en los contenidos de materia orgánica en suelos están relacionados con las variaciones climáticas (Martini 1970). Los contenidos de materia orgánica son determinados por la vegetación y están condicionados a los efectos de otros factores locales, como son el relieve, material parental y características físicas y químicas de los suelos. Por otro lado la velocidad de descomposición depende del tipo de drenaje, de la temperatura y de los contenidos de nutrientes en los suelos. Se observa la mejor correlación entre la relación C/N y la materia orgánica en las muestras evaluadas en verano.

#### *Materia orgánica*

La materia orgánica del suelo presenta diferencias significativas para el área, profundidades y estaciones. Existe una buena correlación entre los niveles de materia orgánica y la acidez de los suelos. La materia orgánica trae como consecuencia la formación de ácidos húmicos y fúlvicos. La dinámica de nutrientes en sistema suelo-planta está determinado por las especies vegetales, los contenidos de nutrientes y la clase de suelos. Los suelos forestales están cubiertos por una cobertura vegetal y su velocidad de descomposición dependerá de la composición química, de la temperatura y de la humedad (Costa 1990).

Los mayores niveles de materia orgánica se encontraron en las muestras extraídas en verano y otoño. Las tendencias de niveles se presentan iguales en todas las estaciones, correspondiendo a las áreas de menor degradación para perfil superficial, los más elevados niveles de materia orgánica (Tablas 2 a 5). Barros y Novais (1990) han demostrado que la capa superficial del suelo refleja de una forma clara los procesos de formación de horizontes de suelos, esto por la incorporación de fitomasa y actividad de la pedofauna.

Para muestras de suelos de procedencia forestal, como las evaluadas en este estudio, los niveles de materia orgánica constituyen un buen índice de disponibilidad de nutrientes, dado que la materia orgánica le otorga a estos suelos las capacidades de tamponamiento adecuadas para favorecer el intercambio. Correlaciones entre los contenidos de materia orgánica de suelos y adsorción de fósforo son frecuentes, esto podría estar dado por el carácter aniónico de la materia orgánica (Sanyal & De Datta 1991, Novais & Smyth 1999).

### Caracterización física del suelo

La caracterización física y química de las muestras, permite inferir que las características indicadoras de cada sector y perfil se presentan significativamente diferentes, mostrando que existen diferencias estacionales con respecto a la dinámica de nutrientes. Esta dinámica de nutrientes puede ser dependiente de la posición fisiográfica, erosión y drenaje. Cuando se separa la materia orgánica del estrato superficial (0-10 cm, P1), los suelos sometidos a análisis textural muestran una matriz de fracción mineral de proporciones semejantes a las otras dos profundidades (Tabla 6). La capacidad de campo (CC) de los suelos sin separación de materia orgánica, muestran que las partículas son hidrofóbicas, por tanto las diferencias presentes en las distintas profundidades se pueden explicar por la capacidad de retención de agua, permeabilidad, densidad, textura y estructura de los mismos. Estos suelos han estado sometidos a procesos de meteorización menores, por lo que se consideran como suelos relativamente nuevos, con bajo grado de evolución.

**Tabla 6.** Caracterización física del suelo colectado a tres profundidades en tres sectores del Parque Nacional Bosque Fray Jorge. Areas: 1= El Solón, 2= Sendero de Interpretación y 3= Norte. Profundidades: P1= 0-10 cm, P2= 10-20 cm y P3= 20-60 cm.

	Area 1			Area 2			Area 3		
	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3
CC <sup>1</sup>	1,9	5	9,8	2,1	3,2	12,3	3,9	6,9	12,5
D ap. (g/cm <sup>3</sup> ) <sup>2</sup>	0,682	0,981	1,066	0,894	0,998	1,093	0,941	0,088	1,194
Arena (%) <sup>3</sup>	71	74	72	74	70	70	71	68	72
Limo (%) <sup>3</sup>	12	10	14	10	15	15	11	17	13
Arcilla (%) <sup>3</sup>	17	16	14	16	15	15	18	15	15

<sup>1</sup> Método de la Columna

<sup>2</sup> EMBRAPA (1979)

<sup>3</sup> Método Bouyoucos (separación materia orgánica)

Las muestras de suelos evaluadas en el transcurso de tres años, presentan valores elevados de materia orgánica, mostrando una relación entre estos contenidos y los

niveles de N P K, así como en los valores de intercambio y reacción de los suelos. La dinámica de incorporación es lenta demostrada por la relación C/N, siendo dependientes del grado de alteración y descomposición. Si consideramos que la disponibilidad de elementos depende de los factores formadores de suelos, como ser de la vegetación, topografía, organismos del suelo, clima y material parental, estos suelos en particular deberían ser considerados adecuados para mantener el bosque.

Puede concluirse que las muestras de suelos evaluadas pueden ser consideradas con buen potencial de fertilidad, y que el reciclaje aún cuando lento podría ser adecuado para la mantención de la actividad forestal del Bosque Fray Jorge.

### AGRADECIMIENTO

Al Gobierno Regional IV Región Coquimbo, por el financiamiento del Proyecto Banco Integrado de Proyectos BIP N° 20092545-0, y a la Corporación Nacional Forestal, CONAF por el apoyo y autorización de acceso al Parque Nacional Bosque Fray Jorge.

### LITERATURA CITADA

- ARMESTO JJ, PE VIDIELLA, & JR GUTIÉRREZ (1993) Plant communities of the fog-free coastal desert of Chile. Plant strategies in a fluctuating environment. *Revista Chilena de Historia Natural* 66: 271-122.
- ATTIWILL PM (1968) The loss of elements from decomposing litter. *Ecology* 49: 142-145.
- BARROS NF & RF NOVAIS (1990) Relação solo-eucalipto. Viçosa. 330p.
- BEVEGE DI (1978) Biomass and nutrient distribution in indigeous forest ecosystems. Queensland. Department of Forestry, 20 pp
- BRAY RH & LT KURTZ (1945) Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. *Soil Science* 59: 39-45.
- BUCKMAN HO & NC BRADY (1979) Naturaleza y propiedades de los suelos. Freitas Bastos. Rio de Janeiro. 4: 74-109.
- BUOL SW, FD HOLE & RJ MCCRAKEN (1973) Soil genesis and classification. The Iowa State University Press. Am. Iowa. USA, 360 pp
- CASTRO OM, NF LOMBARDI SR VIEIRA & SCF DECHEN (1986) Sistemas convencionais e reduzidos de preparo do solo e as perdas por erosao. *R. Bras. Ci. Solo.* 10: 167-171.
- COSTA LM (1990) Manejo de Solos em Areas Forestadas. En: NF Barros & RF Novais (eds) Relação solo-eucalipto: 237-264, Vicosa.
- DE LAS SALAS G (1987) Suelos y ecosistemas forestales con énfasis en América tropical. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San Jose. Costa Rica. 123-191.
- DALVIN B (1981) Plant industry and agricultural engenering. *Soil Survey Manual*. Rev. Ed Washington, D.C. USDA Hambook 18. 503 p.
- EMBRAPA (1997) Manual de Métodos de Análise de Solo. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Ministerio de Agricultura e do Abastecimento. Rio de Janeiro, Brasil. 212 p.
- FERNANDES B & JO SYKES (1987) Capacidade de campo e retenção de água em três solos de Minas Gerais. *R. Ceres* 15: 1-39.
- FERNÁNDEZ RI (1993) Determinação das frações húmicas e fulvicas extraídas com pirofosfato de sodio a diferentes valores de pH em tres solos brasileiros. XXIV

- Congresso Brasileiro de Ciencia do Solo. Resumos Vol I. Sociedade Brasileira da Ciencia do Solo. Goiania. Goias. Brasil. 157-158.
- FERNÁNDEZ RI (1995) Reversibilidade de fósforo nao-labil em diferentes solos, em condições naturais e quando submetidos a redução microbiológica ou química. Universidade Federal de Viçosa. Vicoso. Minas Gerais. Brasil. Tesis Doctoral, 94 p.
- FERNÁNDEZ RI & JC HIDALGO (en prep.) Evaluación de ácidos húmicos y ácidos fúlvicos en muestras de suelos orgánicos.
- GIANZO J & Y PIZARRO (2000) Dinámica de fósforo en muestras de suelos del Parque Nacional Bosque Fray Jorge. Tesis de Licenciatura en Química, Universidad de La Serena. 94 pp.
- GUTIÉRREZ JR & PL MESERVE (2003) El Niño effects on soil seed bank dynamics in north-central Chile. *Oecologia* 134: 511-517.
- GUTIÉRREZ JR, PL MESERVE, FM JAKSIC, LC CONTRERAS, S HERRERA & H VÁSQUEZ (1993) Structure and dynamics of vegetation in a Chilean arid thornscrub community. *Acta Oecologica* 14: 271-285.
- HARTER R (1969) Phosphorus adsorption sites in soils. *Soil Sci. Soc. Ame. Proc.* 33: 630-632.
- HOLFORD ICR & GEC MATTINGLY (1975) The high and low-energy phosphate absorbing surfades in calcareous soil. *Journal of Soil Sciences* 26: 407-417.
- JACKSON ML (1974) *Soil Chemical Analysis*. Madison, University of Wisconsin, Wisconsin 854 pp
- JACKSON ML (1979) *Soil Chemical Analysis: advanced course*. Madison, University of Wisconsin. 895 p.
- JORDAN CF & JR KLINE (1972) Mineral cycling: some basic concepts and their applications in tropical rain forest. *Annual Review Ecology & Systematic*. 3: 33-50.
- KUMMEROW J (1966) Aporte al conocimiento de las condiciones climáticas del bosque de Fray Jorge. Universidad de Chile, Facultad de Agronomía, Estación Experimental Agronómica, *Boletín Técnico* 24: 21-24.
- MARTINI J (1970) Allocation of cation exchange capacity to soil fraction in seven surface soils from Panama and the application of cation exchange factor as a weatherind under. *Soil Science*. 109: 324-333.
- MEHLICH A (1978) New extractant for soil test evaluation of phosphorus, potassium, magnesium, calcium, sodium, manganese and zinc. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 9: 477-492.
- MEURER EJ, I ANGHINONI & N KAMPF (1995) Disponibilidade de potássio e sua relação com a mineralogia dos solos. XXV Congresso Brasileiro de Ciencia do Solo. Departamento de Solos. Universidade Federal de Viçosa. Vicoso. Minas Gerais. pp 345-347.
- MORENO EC, WL LINDSAY & G OSBORN (1960) Reaction of calcium. Phosphate in soil. *Soil Science* 90: 58-68.
- NOVAIS RF & JT SMYTH (1999) Fósforo em solo e planta em condições tropicais. UFV.DPS. 399p.
- NOVAIS RF, NF BARROS & JCL NEVES (1990) Nutricao mineral do eucalipto. En: NF Barros & RF Novais (eds) *Relacao solo-eucalipto*: 25-98. Vicoso.
- PÉREZ C (1994) Índices de esclerofilia en relación a la calidad química de la hojarasca y al grado de mineralización potencial del Nitrógeno del suelo superficial del bosque de olivillo (*Aextoxicon punctatum* R. et Pav.) en Chile. *Revista Chilena de Historia Natural* 67: 101-109.
- PHILIPPI R (1884) A visit to the northernmost forest of Chile. *Journal of Botany* 22: 201-211.

- PHILIPSON W & M DROSDOFF (1978) Relationships among physical and Chemical properties of representative soils. *Soil Science* 36: 815-819
- POGGIANI F (1985) Ciclagem de nutrientes em ecossistemas florestais de Eucalyptus e Pinus. Implicações silviculturais. Piracicaba. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz". (Tese Livre-Docente), 211 pp
- REIS M, G DAS & NF BARROS (1990) Ciclagem de nutrientes em Plantios de Eucalipto. En: NF Barros & RF Novais (eds): *Relação Solo-Eucalipto*: 265-302, Editora Folha de Viçosa, Minas Gerais, Brasil.
- SANYAL SK & SK DE DATTA (1991) Chemistry of phosphorus transformations in soil. *Adv. Soil Science* 16: 1-120.
- SOMBROEX W (1966) Amazon Soils. Agerinigen, Center for Agricultural Publication and Documentation. 292 pp
- THOMAS GW & DE PEASLEE (1973) Testing soils for phosphorus. En: Walsh LM & JD Beaton (eds) *Soil Testyng and Plant Analysis*: 115-132. Revised Edition. Soil Science Society of America, Madison.
- THOMPSON LM (1962) El suelo y su fertilidad. Editorial Reverté S.A. Barcelona. España. 10: 215-236.
- TISDALE S & W NELSON (1991) Soil Fertility and Fertilizers. Basic Soil-Plant relationships: 121-138, New York. Macmillan Co.
- VEGA J (2000) Dinámica de potasio en muestras de suelos del Parque Nacional Bosque Fray Jorge. Tesis de Licenciatura en Química, Universidad de La Serena. 80 pp.