

CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE ANDISOLES REPELENTES AL AGUA DEL ORIENTE ANTIOQUEÑO

Daniel F. Jaramillo J.¹

RESUMEN

Se evaluaron algunas propiedades químicas de 76 Andisoles repelentes al agua, de lotes bajo cobertura de Pinus Patula; muchas de las propiedades evaluadas presentaron coeficientes de variación con valores relativamente altos, mayores a 20%; sólo los pHs presentaron coeficientes de variación menores de 10%.

Al interpretar los valores de las propiedades relacionadas con la fertilidad, puede decirse que estos suelos son de muy baja fertilidad, con muy bajos contenidos de nutrimentos, baja saturación con bases, alta saturación con aluminio, muy ácidos y con baja CICE.

ABSTRACT

Some chemical properties were evaluated in 76 water repellent Andisols at Pinus Patula stands; more properties show high values of coefficient of variation ($> 20\%$); only the pHs values show coefficients of variations $< 10\%$.

The soil analyzed were very low fertility, with low nutrients content, low saturation of bases, high saturation of aluminum, very high acidity and low CICE.

INTRODUCCIÓN

Las propiedades químicas de suelos hidrofóbicos que mayor atención han recibido en las publicaciones han sido el contenido de materia orgánica y el contenido de carbono orgánico, ya que son las más frecuentemente

relacionadas con las medidas de hidrofobicidad del suelo (DeBano, 1969; Scholl, 1971; Singer y Ugolini, 1976; John, 1978; Sengönül, 1987; Dekker y Jungerius, 1990; Harper y Gilkes, 1994).

Las propiedades de dichos suelos tienen una gran variabilidad, debido a

¹ Profesor Titular. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. ICNE. A.A. 3840. E-mail: djaramat@perseus.unalmed.edu.co

las amplias diferencias que se presentan entre los materiales parentales y la cobertura vegetal de los suelos (DeBano, 1971; Singer y Ugolini, 1976; McGhie y Posner, 1980; Crockford *et al*, 1991; John, 1978 Karnok *et al*, 1993), aunque en la caracterización química de horizontes superficiales en Andisoles no repelentes al agua, la información disponible también presenta una amplia variación (Jaramillo, 1995).

Con este trabajo se pretende caracterizar las principales propiedades químicas del suelo que intervienen en los procesos nutricionales de las plantas y establecer algunas relaciones básicas entre ellas que permitan interpretar su estado de fertilidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se tomaron al azar 76 muestras (1 por cada 2 ha, aproximadamente) en lotes con plantaciones de *Pinus Patula*,

con edades entre 13 y 30 años, de la cuenca alta de la quebrada Piedras Blancas, oriente antioqueño (Jaramillo y Herrón, 1991); en estudios previos se detectó en estos lotes la presencia de diferentes grados de repelencia al agua, en los cuales se obtuvieron valores de WDPT mayores a 900 segundos (Jaramillo, 1992); las muestras fueron secadas al aire y cernidas por un tamiz con abertura de 2 mm de diámetro.

Las muestras secas y tamizadas fueron sometidas a procesos sucesivos de homogenización y cuarteo, después de lo cual se les hicieron los análisis indicados en la Tabla 1, según los métodos expuestos; además, con base en las determinaciones realizadas en el laboratorio, se calcularon las propiedades del suelo que se indican en la Tabla 2; las variables enumeradas en las tablas mencionadas, se identificarán en este documento con las abreviaturas que se exponen en ellas.

Tabla 1. Determinaciones químicas y métodos utilizados para caracterizar Andisoles repelentes al agua del oriente antioqueño. Entre paréntesis, los símbolos y las unidades con los cuales se identifican las variables correspondientes.

Determinación	Método y unidades	Referencia
Contenido de materia orgánica (MOW)	Walkley y Black (%)	Motta <i>et al</i> , 1990
Contenido de materia orgánica total (MOT)	Ignición a 650°C (%)	Savage <i>et al</i> , 1969
pH en agua (pHA)	1:1, v:v	Motta <i>et al</i> , 1990
pH en KCl (pHK)	1:1, p:v, suelo:solución	Motta <i>et al</i> , 1990
pH en NaF (pHN)	1:50, p:v, suelo:solución	Fielde y Perrott, 1966
Contenido de aluminio intercambiable (Al)	Extracción con KCl 1 N (cmol (+) / kg suelo)	Motta <i>et al</i> , 1990
Contenidos de calcio, magnesio, potasio y sodio intercambiables.(Ca, Mg, K, Na)	Extracción con acetato de amonio normal y neutro; (cmol (+) / kg suelo)	Motta <i>et al</i> , 1990

Continuación Tabla 1...

Determinación	Método y unidades	Referencia
Contenido de fósforo disponible (P)	Bray II (ppm)	Motta <i>et al.</i> , 1990
Contenidos de hierro, manganeso, cinc y cobre disponibles. (Fe, Mn, Zn, Cu)	Olsen modificado (ppm)	Lora, 1989
Contenido de Boro disponible.(B)	Agua caliente (ppm)	Motta <i>et al.</i> , 1990
Capacidad total de intercambio catiónico (CIC)	Extracción con acetato de amonio normal y neutro; (cmol (+) / kg suelo)	Motta <i>et al.</i> , 1990

Tabla 2. Parámetros calculados utilizados para completar la caracterización de Andisoles repelentes al agua del oriente antioqueño. Entre paréntesis las unidades en las cuales se expresa la propiedad en este documento.

Propiedad y unidades	Fórmula de cálculo
Delta de pH	$\Delta pH = pHK - pH_A$
Capacidad de intercambio catiónico efectiva (cmol (+) / Kg suelo).	$CICE = (BT + Al)$
Capacidad de intercambio catiónico variable (cmol(+)/kg suelo).	$CICV = CIC - CICE$
Porcentaje de carga variable (%)	$CICVP = \frac{CICV}{CIC} \times 100$
Contenido de bases totales (cmol (+) / Kg suelo)	$BT = (Ca + Mg + K + Na)$
Saturación efectiva de bases (%)	$SBE = \frac{BT}{CICE} \times 100$
Saturación efectiva con aluminio (%)	$SAIE = \frac{Al}{CICE} \times 100$
Saturación efectiva con calcio (%)	$PCI = \frac{Ca}{CICE} \times 100$
Saturación efectiva con magnesio (%)	$PMI = \frac{Mg}{CICE} \times 100$
Saturación efectiva con potasio (%)	$PKI = \frac{K}{CICE} \times 100$
Saturación efectiva con sodio (%)	$\frac{Na}{CICE} \times 100$

Una vez realizados los análisis de laboratorio propuestos, se procedió a llevar a cabo los análisis estadísticos básicos, así como análisis de correlación, con la ayuda del paquete de computador Statgraphics plus, versión 2.0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 3 se presentan los valores promedios, máximos y mínimos obtenidos para las variables evaluadas, así como los coeficientes de variación que los caracterizaron.

Tabla 3. Valores promedios, máximo y mínimo y coeficientes de variación de variables químicas de Andisoles repelentes al agua del oriente antioqueño (n = 76).

Variable	Valor medio	Valor máximo	Valor mínimo	C.v. (%)*
MOW	35.08	63.90	11.67	29.68
MOT	46.45	86.48	25.45	21.14
pHA	4.62	5.20	3.77	6.22
pHK	3.90	4.77	2.80	7.96
pHN	10.62	11.60	7.43	8.19
Al	5.97	13.53	0.70	47.87
Ca	0.70	1.53	0.30	33.78
Mg	0.32	0.47	0.17	17.26
K	0.20	0.47	0.08	32.94
Na	0.52	0.71	0.35	13.92
P	4.86	13.00	1.00	41.73
Fe	668.24	1851.67	155.33	58.80
Mn	5.30	27.00	1.00	109.42
Zn	2.20	5.00	1.00	38.65
Cu	1.70	4.00	0.00	56.97
B	1.28	2.87	0.10	51.43
CIC	55.42	77.67	36.07	14.49
Δ pH	-0.71	+0.10	-1.20	34.38
CICE	7.72	15.22	2.50	37.83
CICV	47.70	65.47	26.43	16.86
CICVP	85.88	95.61	65.22	6.61
BT	1.74	2.61	1.13	18.05
SBE	26.16	72.87	10.42	44.50
SAIE	73.84	89.58	27.13	15.76
PCI	10.58	37.60	3.17	55.98
PMI	4.78	10.80	2.08	45.13
PKI	2.94	7.75	0.97	43.66
PSI	7.86	18.00	3.19	42.77

* Coeficiente de variación.

Contenido de materia orgánica. El contenido de materia orgánica fue alto en todas las muestras, con los dos métodos utilizados; para la MOW, sólo dos muestras presentaron valores por debajo de 20% y 19 presentaron contenidos superiores al 40 %; cuando se determinó la MOT, 23 muestras tuvieron contenidos mayores al 50%, llegando a valores tan altos como 86.48% en una de ellas.

En todos los casos la MOT fue mayor que la MOW, debido a diferencias en los procedimientos de la determinación, ya que la MOW se determina sobre muestras cernidas a través de un tamiz de 0.25 mm, en tanto que la MOT, se determina sobre muestras tamizadas a 2 mm, con lo cual, la cantidad de fragmentos vegetales presentes en ésta es mayor que en la tamizada más fina.

Al comparar los valores promedios de MOW, obtenidos en muestras repelentes al agua, con los promedios encontrados en horizontes A de Udands del oriente antioqueño (Jaramillo, 1995), se observa una diferencia importante entre ellos, pues en éstos últimos, el promedio está en 21.89%, con rango de variación entre 7.9 y 44.7% ; estas diferencias obedecen a la variación en la cobertura vegetal, ya que en este último trabajo se incluyeron sólo suelos con vegetación de potreros, rastrojos naturales y cultivos extensivos.

El mayor contenido de materia orgánica presente en los suelos bajo

Pinus Patula se relaciona, en parte, con la alta producción de biomasa de las coníferas (Carvalho *et al*, 1983; Munhoz *et al*, 1986; Koehler *et al*, 1987 y Trevisan *et al*, 1987); estos autores encontraron mayor producción de acículas secas en coníferas, en Brasil, que la producción de hojas secas en bosques húmedos tropicales naturales, de la misma región, reportada por Ferreira (1990).

Además, la acumulación de materia orgánica en suelos bajo cobertura de coníferas es mayor que bajo bosques de frondosas debido, según Burbano (1989), a la baja rata de mineralización de las acículas, la cual se debe, en parte, a su composición leñosa, la cual le da una relación C/N muy alta, como encontró Reismann (1983), para acículas de *Pinus elliottii*, cuyas relaciones C/N variaron entre 31 y 83, dependiendo de su grado de descomposición; Popenoe *et al* (1992), también encontraron que entre varios tipos de cobertura vegetal, los primeros 30 cm del suelo bajo plantaciones de coníferas, presentaban los mayores valores en la relación C/N: entre 18.3 y 29.3.

Los valores de los coeficientes de variación encontrados en este trabajo pueden considerarse bajos, si se comparan con los valores de entre 28 y 70% obtenidos por Eswaran *et al* (1993); además, la diferencia observada entre los coeficientes de variación del contenido de materia orgánica, determinada por los métodos utilizados

en este trabajo, muestra que hay una mayor consistencia en el método de ignición, lo cual está indicando que con este método hay una mayor homogeneidad y representatividad en la muestra, sobre todo cuando ésta tiene alto contenido de materia orgánica fresca o poco descompuesta.

La reacción y la acidez. Los valores de pH obtenidos, tanto en agua (pHA) como en cloruro de potasio (pHK), fueron bastante bajos; los valores de pHA en los materiales estudiados están lejos de los promedios establecidos por Cervantes y otros, citados por Guerrero (1991), para los suelos de la zona Andina Colombiana: 5.1, así como de los encontrados por Jaramillo (1995) para los Andisoles del oriente antioqueño: 5.13.

La alta acidez es la característica dominante en estos suelos, ya que el 89.5% de las muestras presentaron un pHA < 5.0 y el 92.11% de ellas presentaron un pHK < 4.3; los pHs tan bajos encontrados están más relacionados con el tipo de cobertura que con el fenómeno de la repelencia al agua, pues varios autores han notado que la acumulación de acículas de coníferas en el suelo, disminuye su pH: Bara *et al* (1985); Pritchett (1986); Munhoz *et al* (1986); Moreno (1987), entre otros.

La acidez intercambiable de estos materiales repelentes al agua es alta; el 85.53% de las muestras presentan Al

mayores de 2.5 cmol(+)/kg de suelo y el 84.21% de ellas alcanzan una saturación con aluminio mayor de 57%.

Las condiciones de acidez mencionadas anteriormente son normales, si se tiene en cuenta que la solubilidad del Al aumenta a medida que el pH del medio disminuye, aparte de que Pohlman y McColl (1988) observaron que los ácidos orgánicos libres, producidos durante la descomposición de materiales vegetales o como exudados de las plantas, son los principales agentes de disolución de aluminio y de hierro en ecosistemas forestales de mezclas de coníferas; también Pohlman y McColl (1989) encontraron, en ecosistemas forestales similares a los anteriores, que la rata de disolución de aluminio por productos húmicos fue entre 3 y 6 veces más rápida que con ácidos minerales, a valores comparables de pH.

Parfitt (1992) encontró que en suelos alofánicos con pH cercano a 4.5, el aluminio ocupaba buena parte de los sitios cargados negativamente en los coloides del suelo, situación que también se presentó en los materiales repelentes al agua, como se concluye de la alta saturación con aluminio que presenta su complejo de intercambio (73.84% en promedio).

Al comparar los contenidos y saturación de aluminio de estos materiales, con los encontrados por Jaramillo (1995) para horizontes A de

Andisoles no hidrofóbicos, se aprecian diferencias importantes: para los suelos normales, los valores de Al tienen un promedio de 1.92 cmol(+)/kg de suelo, con un coeficiente de variación del 81.82%; la saturación con aluminio presenta un promedio de 48.59% y un coeficiente de variación de 49.03%.

Las diferencias observadas obedecen, en buena parte, al tipo de materia orgánica que se está acumulando en los materiales repelentes; Bara *et al* (1985) y Hernández y Pomenta (1985), entre otros, han reconocido incrementos en el contenido de aluminio, en diferentes tipos de suelo, bajo cobertura de pinos, al compararlos con suelos similares bajo coberturas diferentes, aunque sin diferencias estadísticamente significativas.

Los resultados de Munhoz *et al* (1986) también confirman el efecto que este tipo de vegetación tiene sobre el aluminio del suelo pues, en ensayos de invernadero, incorporando acículas de pino al suelo en diferentes cantidades, encontraron que al adicionar el equivalente a 6 ton/ha de acículas, el suelo pasó de tener 0.2 a tener 0.5 meq Al / 100g de suelo, en siete meses.

Los menores valores en los coeficientes de variación mostrados por la SAIE, con respecto a los obtenidos para el Al, pueden estar implicando que la saturación, al involucrar el complejo de cambio del suelo, es un mejor parámetro de evaluación de la acidez que el solo contenido de aluminio.

El estado de las bases. Si se tienen en cuenta los niveles críticos de 3, 1.5 y 0.2 meq/100g de suelo, para considerar como bajos los contenidos de Ca, Mg y K respectivamente, establecidos por el ICA (1992), así como de 1 meq/100g de suelo para el contenido máximo permisible de Na, en la Tabla 3 se observa que en todas las muestras el Ca y el Mg presentan valores muy bajos; en el 60% de los muestras, el K está por debajo del límite crítico y el Na se encuentra en niveles adecuados en todas las muestras.

Si se comparan los contenidos de bases con los de Al presentados en la Tabla 3, se observa la gran diferencia que hay entre ellos y la dominancia que tiene el Al en el complejo de intercambio catiónico de estos materiales; este desbalance bases-Al es producido por las condiciones de evolución que han tenido estos suelos; las condiciones climáticas del altiplano del oriente antioqueño se caracterizan por alta precipitación, alta humedad relativa y baja temperatura; además, los suelos en estudio presentan alta macroporosidad; las bases del suelo son retenidas débilmente por el alofano, como lo han demostrado Luna (1968), Luna y Suárez (1978) y Bornemisza (1988); las condiciones anteriores han favorecido una alta perecolación de agua a través del perfil del suelo que ha generado, a través de su evolución, una alta lixiviación de bases.

Los procesos descritos anteriormente, quedan evidenciados con

los resultados de Chaverri y Alvarado, citados por Alvarado y Bornemisza (1985), quienes estudiaron algunos

cambios químicos en cenizas volcánicas, al cabo de 15 años de haberse producido su erupción (Tabla 4).

Tabla 4. Algunos cambios químicos producidos en cenizas volcánicas del Volcán Irazú, Costa Rica, en 15 años.

Propiedad	Años después de la erupción	
	0	15
pHA	6.1	5.5
pHK	5.6	4.6
Ca (me/100g suelo)	2.5	1.4
Mg (me/100g suelo)	0.8	0.4
K (me/100g suelo)	1.6	0.4
Na (me/100g suelo)	0.29	0.1
CIC (me/100g suelo)	5.26	28.7

De los contenidos de bases expuestos en la Tabla 3, llama la atención el alto contenido de Na; esto puede estar relacionada con la composición inicial del material parental en el cual, como reporta Londoño (1992) para cenizas del nevado del Ruiz, el contenido de Na_2O es mayor que el de MgO y casi el doble del de K_2O ; estos contenidos son el reflejo de la composición dacítica (Malagón *et al* 1991, 1992) a dacito-andesítica (Flórez, 1987) estimada para las cenizas presentes en el oriente antioqueño, en las cuales predominan, según los autores citados, los feldespatos y plagioclasas con alta proporción de Na.

Los contenidos de bases totales encontrados en estos Andisoles repelentes son bastante bajos, aunque están dentro de los rangos reportados para Andisoles distróficos por varios

autores como Luna (1968), Luna y Suárez (1978), Malagón *et al* (1991, 1992) y Valencia (1992); todas las muestras presentan un contenido de bases totales inferior a 2.6 cmol(+)/kg suelo.

Los valores de la saturación total de bases son bajos, pues el 88.16 % de las muestras tienen saturación de bases menor al 40% y sólo una muestra presentó $\text{SBE} > 60\%$; además, presentan amplias diferencias con los de Malagón *et al* (1991, 1992), lo cual se debe a que estos investigadores utilizaron, como base para el cálculo la CIC, en tanto que en éste trabajo se utilizó la CICE, en razón a que Juo y Adams (1986) concluyeron que la CICE era una medida más realista del intercambio catiónico y de la saturación de bases, en suelos dominados por coloides con carga variable.

Teniendo en cuenta que los niveles de saturación de bases que se consideran bajos: < 15% para saturación de Ca y < 6 % para Mg (ICA, 1992), se concluye que la mayoría de las muestras (78.95%) tienen bajos contenidos de Ca y de Mg; entre tanto, la saturación con K está entre media y alta en el 43.42% de las muestras y alta en 32.89% de ellas, ya que tienen PKI > 3%.

Con respecto a la saturación con Na (PSI), llama la atención el hecho de que 31 muestras presentan valores mayores de 7%, incluyendo 6 muestras con PSI >15%; es interesante resaltar, en relación con el alto PSI, que no se evidencia dispersión de coloides en estos materiales, explicable posiblemente porque no haya colapso de la doble capa difusa de los coloides por estar saturada, en buena parte, con Al.

El fósforo disponible. Los suelos analizados presentan valores muy bajos de P, siendo esta característica común a todas las muestras; un alto porcentaje (97.37%) de ellas presentan contenidos de P < 10 ppm; de todos modos, el bajo contenido de fósforo disponible, es un problema inherente a los Andisoles, los cuales, por definición, presentan valores de fijación de fosfatos de 85% ó mayores (SSS, 1998).

El valor promedio consignado en la Tabla 3 es algo diferente al encontrado por Jaramillo (1995) en el horizonte A de Udands normales del oriente antioqueño, el cual fue de 3.2 ppm; en

lo que sí hay una diferencia fundamental es en el coeficiente de variación de estas determinaciones, el cual fue de 168.03 % en dichos Andisoles humectables.

El complejo de intercambio. El valor ApI de los Andisoles repelentes al agua fue relativamente alto y tuvo un amplio rango de variación; sólo una muestra presentó un ΔpH positivo; el resto presentaron un ΔpH alto y negativo, definiendo el comportamiento de estos suelos repelentes al agua, como intercambiadores de cationes (Uehara y Gillman, 1981).

Con respecto a la identificación del complejo de intercambio de los Andisoles repelentes al agua y, teniendo en cuenta que en varias investigaciones el $pHN > 9.4$ y la $CICVP > 70\%$ han sido buenos indicadores de la presencia de materiales amorfos en el suelo (Uehara, 1985; Benavides, 1984, 1987; Benavides y González 1988a, 1988b; Malagón *et al.*, 1991, 1992 y Jaramillo y Parra, 1993), puede decirse que este complejo está dominado por materiales de alta carga dependiente del pH, puesto que el 81.58 % de los suelos presentaron $pHN > 10$ y sólo una muestra presentó $CICVP$ menor a 70%.

Los valores promedios de CIC y de CICV son menores y los de la CICE son mayores a los encontrados por Jaramillo (1995), para las mismas propiedades, en horizontes A de Andisoles distróficos no repelentes al agua del oriente antioqueño; los valores relativamente altos obtenidos para los

coeficientes de variación en los suelos no repelentes y en los de este trabajo, están relacionados con la alta variabilidad que presentan propiedades relacionadas con el intercambio, como la distribución de coloides en el suelo.

Los altos valores de CICV coinciden ampliamente con los valores reportados en la literatura y ponen de manifiesto que la CIC en estos suelos está sobreestimando la capacidad real del suelo para realizar intercambio de cationes y distorsiona la información que proporciona acerca de la habilidad del mismo para retenerlos en contra de los procesos de lixiviación.

Los elementos menores. Teniendo en cuenta los niveles críticos establecidos por el ICA (1992) para elementos menores en suelos, puede decirse que los contenidos de Fe y B se encuentran en niveles altos y los demás en niveles medios; todas las muestras presentaron valores mayores de 100 ppm de Fe, 61 muestras tuvieron cantidades de B mayores de 0.5 ppm, 28 muestras tuvieron valores entre 1.5 y 3 ppm de Zn y 64 muestras presentaron contenidos de Cu entre 1 y 3 ppm.

En los resultados de la Tabla 3 son notorios los altos coeficientes de variación encontrados en todos los elementos menores, los cuales pueden estar asociados a la gran cantidad de propiedades que se relacionan con ellos, como puede verse más adelante en los análisis de correlación.

Desafortunadamente, la información publicada acerca del contenido de los elementos menores en Andisoles no repelentes al agua es demasiado exigua y no se tiene una base de comparación suficiente para confrontar con los suelos repelentes al agua de este trabajo.

Análisis de correlación. Al someter los resultados obtenidos a análisis de correlación se obtuvieron los resultados que se presentan en la Tabla 5; se han eliminado de esta matriz los coeficientes entre aquellas propiedades en que una es parte de la otra; por ejemplo, al calcular la SAIE hay que involucrar el Al, por lo tanto la correlación SAIE - Al no se tiene en cuenta.

Como se aprecia en la Tabla 5, hay una gran cantidad de correlaciones entre las propiedades analizadas en los suelos repelentes al agua, muchas de las cuales son conocidas también en Andisoles humectables (Jaramillo, 1995); al parecer, no hay diferencias sustanciales entre el funcionamiento químico-nutricional de ambos tipos de suelos. Hay notorias diferencias entre la cantidad de correlaciones y/o entre los coeficientes de correlación que se dan entre variables que se miden por medio de dos métodos diferentes: MOW y MOT, pHA y pHK, Al y SAIE y entre BT y SBE; para aclarar estos comportamientos se requiere más investigación; cabe destacar también que, a pesar de que los coeficientes de correlación encontrados son significativos, ellos son muy bajos en la mayoría de las correlaciones establecidas.

Tabla 5. Coeficientes de correlación estadísticamente significativos con $P > 0.05$, entre algunas propiedades químicas de Andisoles repelentes al agua en el oriente antioqueño.

	MOT	MOW	pHA	pHK	Al	SAIE	Ca	Mg	K	Na	BT	SBE	P	Fe	Zn	Cu
MOW	0.805															
pHA		-0.322														
pHK		-0.444	-0.547	0.674												
Al		0.348	0.468	-0.610	-0.880											
SAIE		0.380	-0.577	-0.812												
iCa							0.512									
Mg		0.302	0.249													
K		0.399	0.525	-0.280	0.319			0.399								
Na		0.420	0.272	-0.290	0.264			0.419	0.405							
iBT		0.312	0.333													
SBE		-0.380	0.577	0.812	-0.850											
P		0.238	-0.269	-0.609	0.515	0.553						0.553				
CIC		0.674	0.688	-0.305				0.310	0.236	0.370						
CICE		0.375	0.495	-0.595	-0.877											
CICV		0.538	0.508													
Fe			-0.415	-0.699	0.708	0.589				0.251			0.383			
Mn			0.254	0.477	-0.427		0.393	0.207			0.360	0.589				
						0.592						0.592				
Zn		0.356	0.306	-0.309									0.339	0.312		
Cu		-0.260						0.248					0.236			
B		0.312	0.488	-0.532	0.392	0.282	0.340	0.201	0.448		0.403		0.301	0.350	0.37	
pHN		-0.277	0.541	0.822								0.282			3	0.422

Fertilidad de los Andisoles repelentes al agua. Como base para realizar esta interpretación se tienen en cuenta los niveles críticos propuestos por Guerrero (1991), ICA (1992), Estrada (1991), Lora (1991), Guerrero (1988), Pizarro (1978), Malagón y Cortés (1984) y Galiano (1991) para evaluar la calidad agronómica del suelo para la producción de cultivos.

En la Tabla 6 se presentan los valores de referencia de las propiedades a utilizar en la interpretación, así como el nivel en que se encuentran los valores promedio y modal de cada característica evaluada; de acuerdo con los resultados de esta tabla, en los suelos analizados, tanto los valores promedios como los modales de las propiedades MOW, CICV y CICE se encuentran en niveles adecuados, lo que implica que las pérdidas actuales de cationes por lixiviación son relativamente bajas; también son adecuados los valores de Na y PSI, por lo cual no son de esperarse problemas relacionados con alcalinidad en estos suelos.

Las propiedades Al, SAIE, Fe y B se presentan en niveles altos, pero en el suelo no son deseables en este nivel, ya que pueden causar desbalances nutricionales y/o problemas de toxicidad y/o fijación de otros nutrimentos.

El Zn y el Cu se encuentran en niveles medios, pero estos niveles pueden ser adecuados en estos suelos, de acuerdo a las observaciones de Valencia (1990)

y Vallejo (1990), en Andisoles normales; igualmente, las relaciones CM y MK también están en niveles medios pero, con los valores que presentan, no deben darse antagonismos en el suministro de estas bases a la planta; todas las demás propiedades evaluadas se encuentran en niveles inadecuados, desde el punto de vista de un buen suministro de nutrimentos a la planta.

En síntesis, puede decirse que los Andisoles repelentes al agua, desarrollados bajo cobertura de *Pinus Patula*, en las condiciones ambientales bajo las cuales se encuentran los analizados en este trabajo, son de baja calidad como sustrato alimenticio para las plantas; presentan baja a muy baja fertilidad, sobre todo en lo relacionado con el suministro adecuado de bases y de fósforo; además, presentan algunos desbalances nutricionales que pueden afectar el desarrollo de algunas plantas en particular; en lo relacionado con los elementos menores, hay una reserva adecuada de éstos.

Debe considerarse la posibilidad de que se presenten toxicidades por parte de algunos elementos que se encuentran en altas cantidades: el Al y el B, sobre todo en plantas susceptibles a B como algunas leguminosas, hortalizas y pastos, así como la de que se produzcan inmovilizaciones importantes de nutrimentos que se apliquen como fertilizantes, debido a las altas cantidades de Al, Fe y materia orgánica.

Tabla 6. Niveles críticos e interpretación para las diferentes propiedades químicas de suelos, utilizadas en la evaluación de su fertilidad, aplicados a Andisoles repelentes al agua del oriente antioqueño.

Propiedad	Nivel o rango de la propiedad			Calificación del valor ¹	
	Alto	Medio	Bajo	Promedio	Modal
MOW	> 10	5 - 10	< 5	A	A
Al	> 3	1.5 - 3	< 1.5	A	A
SAIE	> 60	30 - 60	< 30	A	A
Ca	> 6	3 - 6	< 3	B	B
PCI	> 40	15 - 40	< 15	B	B
Mg	> 1	1.0 - 0.4	< 0.4	B	B
PMI	> 10	10 - 6	< 6	B	B
K	> 0.4	0.2 - 0.4	< 0.2	M	M
PKI	> 3	2 - 3	< 2	M	M
Na	-	-	< 1	B	B
PSI	> 15	7 - 15	< 7	M	M
BT	> 10	5 - 10	< 5	B	B
SBE	> 60	-	-	B	B
P	> 30	15 - 30	< 15	B	B
CIC	> 20	10 - 20	< 10	A	A
CICE	-	-	< 4	A	A
Fe	> 50	25 - 50	< 25	A	A
Mn	> 10	5 - 10	< 5	M	B
Zn	> 3	1.5 - 3	< 1.5	M	M
Cu	> 3	1 - 3	< 1	M	M
B	> 0.4	0.2 - 0.4	< 0.2	A	A
CM*	> 3	1 - 3	< 1	M	M
MK**	> 1.5	1.5 - 1	< 1	A	M

* Relación Ca : Mg.

** Relación Mg : K.

¹A : Alto.

M : Medio.

B : Bajo.

Los altos contenidos de materia orgánica en estos materiales, no garantizan un suministro adecuado de los nutrientes almacenados en ella,

debido a que su mineralización es supremamente lenta y la mayor parte de ella se encuentra como materia orgánica fresca o muy poco alterada.

CONCLUSIONES

Los suelos repelentes al agua estudiados presentan una gran acidificación y alta acumulación de materia orgánica; tienen bajos contenidos de bases y de fósforo y adecuadas cantidades de elementos menores.

Pueden presentarse desbalances nutricionales o toxicidad con algunos elementos, así como inmovilización de nutrimentos aplicados como fertilizante; pueden considerarse suelos de baja fertilidad y su comportamiento químico-nutricional general no es muy diferente de los Andisoles humectables de la zona estudiada.

BIBLIOGRAFÍA

- ALVARADO, A. and F. BORNEMISZA. Management and classification of Andisols of Costa Rica. *En: Proceedings of the Sixth International Soil Classification Workshop, Part I: Papers*. Santiago: Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo, 1985. p: 69-96.
- BARA, S. *et al.* Efectos ecológicos del *Eucalyptus globulus* en Galicia. Estudio comparativo con *Pinus pinaster* y *Quercus robur*. Madrid. Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias, 1985. 381p.
- BENAVIDES, G. DE. Determinación de las propiedades ándicas en algunos suelos de Colombia. *En: Suelos Ecuatoriales*. Vol. 17, No. 2 (1987); p 332-337.
- _____. Cuantificación del material amorfo en algunos suelos derivados de cenizas volcánicas y su relación con los parámetros de la taxonomía de suelos. *En: Suelos Ecuatoriales*. Vol.14, No.1 (1984); p.272-279.
- BENABIDES, G. DE. y GONZALEZ, E. Cuantificación de los aluminosilicatos no cristalinos y alofano y su relación con las propiedades ándicas en algunos suelos de páramo. *En: Suelos Ecuatoriales*. Vol.18, No.1 (1988a); p.51-57.
- _____. y _____. Determinación de las propiedades ándicas y clasificación de algunos suelos de páramo. *En: Suelos Ecuatoriales*. Vol., No. 1 (1988b); p.58-64.
- BORNEMISZA, F. 1988. Management of tropical Andisols. *En: Proceedings of the Ninth International Soil Classification Workshop*. Japanese Committee for the 9th. International Soil Classification Workshop, for the Soil Management Japon: Support Service, 1988b. p.319-329.
- BURBANO, H. El suelo: una visión sobre sus componentes biogénicos. Pasto: Universidad de Nariño, 1989. 447p.
- CARVALHO, J. G. DE *et al.* Nutrição mineral de Pinus. *En: Nutrição mineral de Eucalyptus, Pinus, Araucaria e Gmelina no Brasil*. Campinas: Fundação Cargill, 1983. p.69-134.
- CROCKFORD, H.; TOPALIDIS, S. and RICHARDSON, D.P. Water repellency in a dry sclerophyll eucalypt forest - measurements and processes. *En: Hydrological Processes*. Vol.5 (1991); p. 405-420.
- DEBANO, L.F. The effect of hydrophobic substances on water movements in soil during infiltration. *En: Soil Science Society American. P.* Vol. 35 (1971); p.340-343.
- _____. Water-repellent soils: a worldwide concern in management of soil and vegetation. *En: Agricultural Science Review*. Vol.7 (1969); p.11-18.
- DEKKER, L.W. and JUNGGERIUS, P.D. Water repellency in the dunes with special reference to the Netherlands. *En: Catena Supplement*. Vol. 18 (1990); p.173-183.

ESTRADA, G. Elementos secundarios: Calcio, Magnesio, Azufre. Fundamento e interpretación del análisis químico. *En: Fundamentos para la interpretación de análisis de suelos, plantas y aguas para riego.* Bogotá: Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, 1991. p.197-214.

ESWARAN, H.; VAN DER BERG, E. and REICH, P. Organic carbon in soils of the world. *En: Soil Science Society of America Journal.* Vol.57 (1993); p.192-194.

FERREIRA, L. Interação solo-vegetação em floresta primária e capoeira do ecossistema de tabuleiro do sudeste da Bahia. *En: Agrotropica.* Vol. 2, No.2 (1990); p.96-104.

FIELDER, M. and PERROTT, K. W. The nature of allophane in soils. III. Rapid field and laboratory test for allophane. *En: New Zealand Journal of Science.* Vol.9 (1966); p.599-607.

FLÓREZ, M.T. Litoestratigrafía y pedogénesis de las tefras de Sonsón, La Unión y San Diego. Medellín, 1987. 260p. Trabajo de Grado (Ingeniero Geólogo). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas.

GALIANO, F. Capacidad de intercambio catiónico y aniónico, bases de cambio y saturaciones. *En: Fundamentos para la interpretación de análisis de suelos, plantas y aguas para riego.* Bogotá: Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, 1991. p.164-185.

GUERRERO, M. R. La acidez de los suelos: su naturaleza, sus aplicaciones y su manejo. *En: Fundamentos para la interpretación de análisis de suelos, plantas y aguas para riego.* Bogotá: Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, 1991. p.141-163.

GUERRERO, R. R. El diagnóstico químico de la fertilidad del suelo. *En: Fertilidad de suelos, diagnóstico y control.* 3ed. Bogotá: Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, 1988. p. 151-210.

HARPER, R. J. and GILKES, R.J. Soil attributes related to water repellency and the utility of soil survey for predicting its occurrence. *En: Australian Journal Soil Research.* Vol. 32 (1994); p.1109-1124.

HERRÁNDEZ, D. y POMENTA, L.E. Cambios químicos inducidos en las sabanas de Uverito (Edo. Monagas, Venezuela) por las plantaciones de *Pinus caribaea*. *En: Turrialba.* Vol. 35, No. 1 (1985); p.83-86.

INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO. Fertilización en diversos cultivos. 5a. aproximación. Bogotá: ICA, 1992. 64p. (Manual de Asistencia Técnica No. 25).

JARAMILLO, J. D. F. Andisoles del oriente antioqueño: Caracterización química y fertilidad. Medellín: Universidad Nacional de Colombia. ICNE, 1995. 35p.

_____. Relación entre la acumulación de acículas (litter) de *Pinus Patula* y la hidrofobicidad en algunos Andisoles de Antioquia. Palmira, 1992. 95p. Tesis (Magister en Suelos y Aguas). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias.

_____. y PARRA, L.N. Aspectos biofísicos generales del Páramo de Frontino. *En: Revista ICNE.* Vol. 4, No. 2 (1993); p.81-96.

_____. y HERRÓN, F. Evaluación de la repelencia al agua de algunos Andisoles de Antioquia bajo cobertura de *Pinus Patula*. *En: Acta Agronómica.* Vol. 41, No. 1/4 (1991); p.79-85.

JOHN, P.H. Heat - induced water repellency in some New Zealand pumice soils. *En: New Zealand Journal of Science.* Vol.21 (1978); p.: 401-407.

JUO, A.S.R. and ADAMS, F. Chemistry of IAC soils. *En: Proceeding of a Symposium on Low Activity Clay (IAC) soils.* Technical Monograph No. 14. SMSS. Las Vegas. USA., 1986. p.37-62.

KARNOK, K.A.; ROWLAND, E.J. and TAN, K.H. High pH treatment and the alleviation of soil hydrophobicity on golf greens. *En: Agronomy Journal.* Vol.85 (1993); p.983-986.

KOEHLER, C.W.; REISSMANN, C.B. e KOEHLER, H. S. Deposição de resíduos orgânicos (serapilheira) e nutrientes em plantio de *Araucaria angustifolia* em função do sítio. *En: Revista Set. Ciênc. Agr.* Vol.9 (1987); p.89-96.

LONDOÑO, J.M. Actividad actual del volcán Nevado del Ruiz, Colombia. *En: Suelos Ecuatoriales*. Vol. 22, No. 1 (1992); p.86-91.

LORA, R. Análisis de suelos para micronutrientes. *En: Fundamentos para la interpretación de análisis de suelos, plantas y aguas para riego*. Bogotá: Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, 1991. p.215-226.

LORA, R. Determinación de los micronutrientes cobre, hierro, manganeso, zinc, boro, molibdeno y selenio disponibles. *En: El análisis de suelos, plantas y aguas para riego*. Bogotá: ICA, 1989. p. 91-107 (Manual ICA de Asistencia Técnica No. 47).

LUNA, C. Anotaciones pedológicas sobre algunos Andisoles de Antioquia. Bogotá: IGAC, 1968. 153p.

_____ y SUÁREZ, S. El potasio en suelos derivados de cenizas volcánicas. *En: Suelos Ecuatoriales*. Vol. 9, No.2 (1978); p 37-44.

MALAGÓN, D. y CORTÉS, A. Los levantamientos agrológicos y sus aplicaciones múltiples. Bogotá: Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, 1984. 360p.

_____ ; PULIDO, C. y LINÁS, R. Génesis y taxonomía de los Andisoles Colombianos. *En: Suelos Ecuatoriales*. Vol.22, No.1 (1992); p.50-68.

_____ ; _____ y _____. Génesis y taxonomía de los Andisoles Colombianos. *En: Serie Investigaciones*. Vol. 3, No. 1 (1991); 118p.

MCGLIFF, D.A. and POSNER, A.M. Water repellence of a heavy - textured western Australian surface soils. *En: Australian Journal of Soil Research*. Vol. 18 (1980); p.309-323.

MORENO, F.H. Comparación de algunas propiedades de suelos volcánicos bajo bosques naturales, potreros y plantaciones forestales. Medellín, 1987. 186p. Tesis (Ingeniero Forestal). Universidad Nacional de Colombia. Medellín. Facultad de Agronomía.

MOTTA, B. *et al.* Métodos analíticos del laboratorio de suelos. 5ed. Bogotá: IGAC, 1990. 502p.

MUNHOZ, F.G.; PREVEDELLO, B.M.S. e SOUZA, M.L.P. Utilização agrícola das acículas de *Pinus* sp. *En: Revista Set. Ciênc. Agr.* Vol.8, No. 1/2 (1986); p.59-63.

PARFITT, R.I. Surface charge in some New Zealand soils measured at typical ionic strength. *En: Australian Journal of Soil Research*. Vol. 30 (1992); p.331-341.

PIZARRO, F. Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos. Madrid: Editorial Agrícola Española, 1978. 521 p.

POBLMAN, A.A. and MCCOLL, J.G. Organic oxidation and manganese and aluminum mobilization in forest soils. *En: Soil Science Society of American Journal*. Vol.53 (1989); p.686-690.

_____ and _____. Soluble organics from forest and their role in metal dissolution. *En: Soil Science Society of American Journal* Vol. 52 (1988); p.265-271.

POPENOE, J.H. *et al.* Soil-vegetation relationship in Franciscan Terrain of Northwestern California. *En: Soil Science Society of American Journal*. Vol.56 (1992); p.1951-1959.

PRITCHETT, W. Suelos forestales: propiedades, conservación y mejoramiento. México: Limusa, 1986. 634p.

REISSMAN, C.B. Morfología dos horizontes de humus em florestas de coníferas exóticas no sul do Brasil. *En: Rev. Set. Ciênc. Agr.* Vol.5: (1983); p.11-16.

SAVAGE, S.M.; MARTIN, J.P. and LETEY, J. Contribution of humic acid and a polysaccharide to water repellency in sand and soil. *En: Soil Science Society of American P.* Vol. 33 (1969); p.149-151.

SCHOLL, D.G. Soil wettability in Utah Juniper stands. *En: Soil Science Society of American P.* Vol.35 (1971); p.344-345.

SENGÖNÜL, K. Water repellency in Macechie soils and its relation to plant species, soil properties and fire. I. Ü. Orman Fak. *En: Dergisi Serie A.* Vol.37, No. 2 (1987); p.69-83.

SINGER, M.J. and UGOLINI, F.C. Hydrophobicity in the soils of Findley Lake, Washington. *En: Forest Science.* Vol.22 (1976); p.54-58.

SOIL SURVEY STAFF (SSS). Keys to soil taxonomy. 8cd. Washington D. C.: s.n., 1998. 326p.

TREVISAN, E. *et al.* Morfologia de horizontes orgánicos acumulados sob povoamento de Pinus taeda L. em três sítios distintos. *En: Rev. Set. Ciênc. Agr.* Vol.9 (1987); p.59-62.

UEHARA, G. Physico-chemical characteristics of Andisols. *En: Proceedings of the Sixth International Soil Classification*

Workshop. Part I: Papers. Santiago: Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo, 1985. p.39-50.

UEHARA, G. and GILLMAN, G. The mineralogy, chemistry and physics of tropical soils with variable charge clays. *En: Westview Tropical Agriculture Series No. 4.* (1981); 209p.

VALENCIA, G. Química y fertilidad de los Andisoles de la zona cafetera (Colombia). *En: Suelos Ecuatoriales.* Vol. 22, No.1 (1992); p.69-75.

... Actualidad y futuro de los micronutrientes en la caficultura Colombiana. *En: Memorias Seminario Actualidad y Futuro de los Micronutrientes en la Agricultura.* Palmira: Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, 1990. p.248-266.

VALLEJO, G. Respuesta del pasto Tetrablend 30 a la aplicación de elementos menores en un Andisol de Antioquia. *En: Suelos Ecuatoriales.* Vol. 20, No. 2 (1990); p.78-84.