

ANÁLISIS DE SUELO, FOLIAR Y DE CALIDAD DEL AGUA PARA EL CULTIVO DEL AGUACATERO

Analysis of Soil, Leaf and Water Quality for Avocado

T. Méndez-García^{1‡}, S. Palacios-Mayorga¹ y L. Rodríguez-Domínguez¹

RESUMEN

Se investigó el estado nutricional del aguacatero (*Persea drymifolia* L.), las características físicas y químicas del suelo y la calidad química del agua de riego en huertos familiares de Nepantla, municipio de Tepetlixpa, Estado de México. Los suelos de la zona están representados por una asociación de Andisoles ócricos y Mólicos (ANo ANm), que tradicionalmente han sido suelos forestales a los que, en esta región, se ha dado un uso agrícola, ya que los agricultores locales consideran que son adecuados para el cultivo del aguacatero. Sin embargo, presentan deficiencias de nitrógeno (N), fósforo (P) y, en menor grado, de manganeso (Mn) y zinc (Zn), además de ser muy pobres en materia orgánica (MO) y tener una capacidad alta de retención de P. Estas deficiencias pueden ser corregidas, con un buen manejo del cultivo. El agua de riego que se aplica en los huertos familiares es de buena calidad y sin problemas de salinidad. El análisis foliar realizado en los árboles indican deficiencias de N, P, potasio (K), hierro (Fe), Zn y boro (B), corregibles con una fertilización adecuada.

Palabras clave: *Persea drymifolia* L., condiciones nutrimentales del suelo, desarrollo del aguacate, eficiencia agronómica.

SUMMARY

The nutritional state of avocado (*Persea drymifolia* L.), soil physical and chemical characteristics, and chemical quality of irrigation water were studied in family orchards in Nepantla, municipality of Tepetlixpa, State of Mexico. The soil of the area consists of an association of ocric and mollic Andisols (ANo ANm), which have

traditionally been forest soils. In this region, however, they are now used for agriculture, since the local growers consider them suitable for avocado. Nevertheless, these soils are deficient in nitrogen (N), phosphorus (P), and to a lesser degree, manganese (Mn) and zinc (Zn). They also have low organic matter content (MO) and a high P fixation capacity. All these deficiencies can be corrected in most cases by good crop management practices. The irrigation water quality is good. This water, free of salinity, obtained from the mixture of rain and drinking water, is stored in reservoirs for both domestic use and orchard irrigation. An analysis of foliage of local trees detected deficiencies of N, P, potassium (K), iron (Fe), Zn, Mn, and boron (B), which can be corrected with appropriate fertilization.

Index words: *Persea drymifolia* L., nutrimental soil condition, avocado development, agronomic efficiency.

INTRODUCCIÓN

El aguacatero (*Persea drymifolia* L.) es un árbol de hoja perenne nativo de zonas selváticas de América Central. En México se distribuye una gran cantidad de variedades, en altitudes que van desde el nivel del mar hasta 2000 m; las variedades más importantes en la zona de estudio son Hass y Fuerte (Rodríguez, 1992).

México es el mayor productor de aguacate en el mundo, con 907 400 Mg, en el año 2000, en una superficie de 94 905 ha, con un rendimiento promedio de 9.64 Mg ha⁻¹, de las cuales, en los últimos años, se consumen en el mercado nacional entre 90 y 95% (Sánchez y Ramírez, 2000; Ramos, 2003).

Después de 83 años de prohibición de la exportación de aguacate a los Estados Unidos de América, en 1997 el Servicio de Inspección de Sanidad Animal y Vegetal del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América autorizó la importación de aguacate mexicano a 19 estados del norte de ese país, procedentes de huertas certificadas del estado de Michoacán (Ramos, 2003). En este sentido, aunque el aguacate es un fruto ampliamente aceptado a nivel nacional,

¹ Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad Universitaria, Coyoacán, 04510 México, D. F.

[‡] Autor responsable (mendez.teodoro@gmail.com)

los acontecimientos antes mencionados estimularon la producción de este fruto, lo que ha significado grandes perspectivas de expansión por la difusión de sus propiedades alimenticias e industriales (Sánchez y Ramírez, 2000; Salazar, 2002).

MATERIALES Y MÉTODOS

En Nepantla, Estado de México, la producción aguacatera proviene principalmente de huertos familiares y su cultivo se encuentra en condiciones inadecuadas para alcanzar un máximo rendimiento a gran escala. Por ello, el objetivo de esta investigación es contribuir con el adecuado manejo de la nutrición del aguacatero, en relación con las características físicas y químicas del suelo y la calidad química del agua de riego en el área de estudio.

La zona de estudio comprende un área de 50 km² y se ubica en Nepantla, municipio de Tepetlaxpa, Estado de México, al sureste de la cuenca de México, a 18° 59' N y 98° 50' O. Fisiográficamente, pertenece a la provincia del Eje Neovolcánico, cuyas principales estructuras son los volcanes Popocatepetl e Iztaccíhuatl (INEGI, 1987).

La litología regional indica que la zona de estudio está constituida por afloramientos de rocas metamórficas, ígneas y sedimentarias. No obstante, en la mayor parte de la zona agrícola de Nepantla se localizan rocas ígneas basálticas, depósitos piroclásticos, lacustres y aluviales (INEGI, 1987).

El clima de Nepantla, de acuerdo con García (2004), es (A)Cb(w2)(w) igw que corresponde a un clima semicálido subhúmedo, con régimen de lluvias de verano, el más húmedo de los subhúmedos (P/T = 55.3) con menos de 5% de lluvia invernal (2.9) con canícula, isotermal (menos de 5 °C), con verano fresco y largo, marcha de temperatura tipo ganges.

Las principales unidades edáficas en la localidad de Nepantla, según Soil Survey Staff (1999), pertenecen a los órdenes Inceptisoles, Entisoles y Molisoles y, de acuerdo con la World Reference Base (ISSS-ISRIC-FAO, 2006). Los Grandes Grupos más comunes son el Andisol mólico, en las áreas forestales y agrícolas y el Molisol ócrico en las práticamente. Estos suelos no presentan fases limitantes en las partes planas, donde los cultivos más comunes son: frutales, hortalizas, alfalfa, maíz y frijol (INEGI, 1987).

Para cumplir con el objetivo de este trabajo, durante el invierno de 2001 se ubicaron 14 sitios de muestreo,

elegidos aleatoriamente, en los que se realizó el muestreo por horizontes hasta 90 cm de profundidad; se obtuvo un total de 46 muestras. Además, se hizo un perfil típico de suelo. A las muestras se les practicaron los siguientes análisis: color (tablas de Munsell); textura, por el método de Bouyoucos (Sparks, 1996); densidad aparente (DA), por el método de la probeta; densidad real (DR), con el picnómetro; conductividad eléctrica (CE), en el extracto de la pasta de saturación (Richards, 1954); actividad de los iones hidrógeno (pH) (Jackson, 1982); materia orgánica (MO), por el método de Walkley y Black (Sparks, 1996); capacidad de intercambio catiónico (CIC), por el método de percolación con acetato de amonio pH 7.0; nitrógeno total (NT), por el método de Kjeldahl (Sparks, 1996); fósforo asimilable, por el método de Bray P-I (Jackson, 1982). La capacidad de retención de fósforo se examinó por el procedimiento de Blakemore *et al.* (1987); hierro (Fe), cobre (Cu), manganeso (Mn) y zinc (Zn) asimilables (Lindsay y Norvell, 1978) cuantificados por espectrofotometría de absorción atómica. También se colectaron 14 muestras compuestas de hojas de los árboles de aguacate, que representaron el cuadrante respecto a cada sitio de muestreo, a las que se practicó el siguiente análisis: calcio (Ca), magnesio (Mg), N y P (Jackson, 1982); Fe, Cu, Mn y Zn en una solución ácida proveniente de una digestión húmeda; azufre (S) y boro (B) por cenización (Jackson, 1982). Para conocer la calidad del agua utilizada para el riego, se colectaron cuatro muestras compuestas de agua a las que se practicaron los siguientes análisis: pH y CE (*in situ*); Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺, CO₃²⁻, HCO₃⁻, SO₄²⁻, NO₃⁻ y B, como recomiendan Richards (1954) y APHA-AWWA-WPCF (2005).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las características del perfil típico indican que los suelos de la zona de estudio, de acuerdo con el World Reference Base (ISSS-ISRIC-FAO, 2006), corresponden a un Andisol mólico con un horizonte de diagnóstico poco desarrollado; los colores en seco son pardos amarillentos y en húmedo son pardos grisáceos muy oscuros, con texturas de tipo migajón arenosas. La reacción del suelo en las distintas profundidades del perfil tiende a la neutralidad; mientras que en la mayoría de los perfiles descritos en Andisoles de la Meseta Tarasca en el estado de Michoacán por Alcalá *et al.* (2001), el pH es más ácido. Respecto a los valores de MO y NT, en la profundidad de 0 a 30 cm (Cuadro 1), según los criterios

descritos para Andisoles por Fassbender y Bornemisza (1987), estos suelos son muy pobres en estos constituyentes. En este sentido, los valores de MO detectados en el perfil tipo son muy inferiores a los encontrados por Rodas *et al.* (2001) en un Andisol de la Meseta Tarasca en el estado de Michoacán, con un valor de MO de 8.3%. Las concentraciones de Ca y Mg intercambiables en las tres profundidades fueron muy semejantes pero, en la primera capa, los resultados fueron de 6.63 y 4.08 cmol kg⁻¹, estos valores son medios y altos, respectivamente (Etchevers *et al.*, 1971). Estos valores son muy semejantes a los detectados por Venegas *et al.* (2000) en Andisoles de Tingambato en la Sierra Tarasca en el estado de Michoacán, donde las concentraciones fueron de 7.20 y 4.82 cmol kg⁻¹ para Ca y Mg, respectivamente. El porcentaje de saturación de bases de 65.23 (Cuadro 1), corresponde a un valor medio (Cottenie, 1980), que es ligeramente más alto que los descritos por Alcalá *et al.* (2001) en los perfiles 3 y 9 de la Meseta Tarasca en el estado de Michoacán, en los que los valores fluctúan entre 49 y 76 cmol kg⁻¹.

En general, en el perfil típico resalta una disminución en la MO, NT, K y CIC, a medida que aumenta la profundidad, mientras que el pH, Ca, Mg y Na aumentan ligeramente, excepto la profundidad de 35 a 120 cm, donde el Ca disminuye (Cuadro 1).

Características Físicas de los Suelos

Los suelos presentan colores que varían de amarillentos a rojizos y una DA baja, que varió de 0.62 a 1.06 g cm⁻³ (Cuadro 2); de estas dos propiedades, la más relevante es la DA, que se relaciona con una baja reserva de MO, con la formación de micro agregados estables, una alta porosidad y con la baja densidad de las partículas; estas características, como mencionan Shoji *et al.* (1993, 1996), son clásicas de Andisoles y corresponden a las bajas densidades aparentes de los terrenos 1, 2 y 3, donde los valores fluctuaron de 0.76 a 1.06; de 0.83 a 0.89 y de 0.62 a 1.06 g cm⁻³, respectivamente (Cuadro 2).

La DR de los suelos varió de 1.95 a 2.64 g cm⁻³ (Cuadro 2), esta propiedad tiene menos importancia que la DA desde el punto de vista del manejo del suelo, pues se relaciona principalmente con la densidad de las partículas del suelo y se comporta prácticamente en forma constante a lo largo del tiempo en un horizonte, al ser independiente de la estructura (Shoji *et al.*, 1993).

La textura de los suelos de la zona es de tipo migajón arenosa, ya que los contenidos de arena son superiores a 50% (Cuadro 2), característica que eleva el porcentaje de porosidad y es una propiedad típica de los Andisoles, como resultado de la presencia de materiales amorfos y

Cuadro 1. Características físicas, químicas y fisicoquímicas del perfil típico de Nepantla, Estado de México.

		Profundidad		
		0 a 35 cm	35 a 120 cm	120 a 215 cm
Color	Seco	10YR5/4	10YR6/4	10YR5/3
	Húmedo	10YR3/2	10YR4/3	10YR3/3
Densidad (g cm ⁻³)	Aparente	0.94	0.92	0.88
	Real	2.14	2.22	2.25
Porosidad (%)		56.09	58.47	61.08
	Arena	62.75	57.98	58.93
Textura (%)	Limo	23.75	30.52	36.57
	Arcilla	13.50	11.50	4.50
Clase textural		Mig.aren.	Mig.aren.	Mig.aren.
CE (dS m ⁻¹)		0.04	0.03	0.03
pH (1:2.5)		6.70	7.20	7.20
Ca ²⁺ (cmol _c kg ⁻¹)		6.63	5.90	6.80
Mg ²⁺ (cmol _c kg ⁻¹)		4.08	4.59	4.59
Na ⁺ (cmol _c kg ⁻¹)		0.60	1.10	1.36
K ⁺ (cmol _c kg ⁻¹)		1.22	1.09	0.78
CIC (cmol _c kg ⁻¹)		19.21	18.25	17.27
MO (%)		1.77	0.52	0.30
NT (%)		0.09	0.03	0.02
Porcentaje de saturación de bases		65.23	69.48	78.34

Cuadro 2. Características físicas de algunos suelos de Nepantla, Edo. de México.

Perfil	Muestra	Prof. †	Color		Densidad		Porosidad	Perm. ‡	Arena	Limo	Arcilla	CE§
			Seco	Húmedo	Aparente	Real						
		cm			g cm ⁻³				%			dS m ⁻¹
1	1	0-18	10YR3/3	10YR5/4	0.98	1.95	49.74	MP	63.5	29.5	7.0	0.04
	2	18-30	10YR3/3	10YR5/4	0.90	2.08	56.73	MP	61.5	27.5	11.0	0.04
	3	30-60	10YR4/4	10YR6/4	0.85	2.15	60.47	MP	65.0	24.0	11.0	0.04
	4	60-90	10YR3/3	10YR5/3	0.91	2.22	59.00	MP	61.5	27.5	11.0	0.03
2	5	0-15	10YR3/2	10YR5/3	0.98	2.64	62.88	MP	70.0	22.5	7.5	0.05
	6	15-30	10YR4/4	10YR6/3	0.64	2.16	61.11	P	51.5	36.5	12.0	0.04
	7	30-60	10YR4/4	10YR6/4	0.83	2.21	62.44	MP	56.5	32.5	11.0	0.03
	8	60-90	10YR3/3	10YR6/3	0.88	2.25	60.88	MP	61.5	37.5	11.0	0.04
3	9	0-30	10YR3/3	10YR5/3	0.90	2.46	63.41	MP	63.5	29.0	7.5	0.03
	10	30-60	10YR3/3	10YR6/3	0.80	2.08	66.73	P	53.5	34.0	12.5	0.03
	11	60-90	10YR3/3	10YR6/4	0.85	2.49	65.86	MP	61.5	27.5	11.0	0.02
4	12	0-30	10YR3/2	10YR6/3	0.91	2.55	64.31	MP	60.0	33.0	7.0	0.03
	13	30-60	10YR3/3	10YR6/4	0.76	2.15	64.65	P	51.5	36.0	12.5	0.03
	14	60-90	10YR3/4	10YR6/3	0.84	2.13	60.56	P	50.5	37.5	12.0	0.03
5	15	0-30	10YR4/3	10YR6/4	0.91	2.19	58.45	MP	60.0	32.5	7.5	0.03
	16	30-60	10YR4/4	10YR6/4	0.83	2.16	61.57	MP	55.5	32.0	12.5	0.03
	17	60-90	10YR4/4	10YR6/4	0.87	2.48	64.92	MP	60.0	28.0	12.0	0.03
6	18	0-21	10YR3/3	10YR6/3	1.06	2.42	56.19	MP	66.0	26.5	7.5	0.03
	19	21-30	10YR4/4	10YR6/4	0.88	2.30	61.74	MP	60.0	27.0	13.0	0.03
	20	30-60	10YR4/3	10YR6/4	0.87	2.32	62.50	MP	66.0	25.0	9.0	0.03
7	21	60-90	10YR4/3	10YR6/4	0.87	2.34	62.82	MP	70.0	23.0	7.0	0.04
	22	0-30	10YR3/3	10YR6/3	0.93	2.17	57.14	P	51.5	40.0	8.5	0.03
	23	30-60	10YR4/3	10YR6/4	0.89	2.26	60.62	MP	60.0	30.0	10.0	0.06
	24	60-79	10YR4/3	10YR6/4	0.89	2.18	59.17	P	51.5	37.5	11.0	0.03
	25	79-90	10YR4/3	10YR6/3	0.90	2.20	59.09	MP	64.0	25.0	11.0	0.06
	26	0-30	10YR4/3	10YR6/3	0.89	2.26	60.62	MP	60.0	31.5	8.5	0.05
8	27	30-60	10YR4/3	10YR6/3	0.86	2.09	58.85	MP	60.0	29.0	11.0	0.03
	28	60-90	10YR4/4	10YR6/4	0.83	2.24	62.95	MP	60.0	29.0	11.0	0.03
	29	0-30	10YR3/3	10YR6/3	0.88	2.15	59.07	MP	60.0	29.0	11.0	0.04
9	30	30-60	10YR4/3	10YR6/4	0.66	2.24	61.61	MP	60.0	30.0	10.0	0.03
	31	60-90	10YR4/3	10YR6/3	0.89	2.24	60.27	MP	61.5	29.5	9.0	0.05
	32	0-30	10YR4/3	10YR6/3	0.87	2.29	62.00	MP	64.0	27.5	8.5	0.05
10	33	30-60	10YR4/3	10YR6/3	0.87	2.24	61.16	MP	61.5	30.0	8.5	0.04
	34	60-90	10YR4/3	10YR6/4	0.88	2.22	60.36	MP	64.0	27.5	8.5	0.03
	35	0-30	10YR3/3	10YR6/3	0.87	2.18	60.09	MP	60.0	29.0	11.0	0.05
11	36	30-60	10YR4/3	10YR6/3	0.84	2.10	60.00	MP	64.0	27.5	8.5	0.04
	37	60-90	10YR3/3	10YR6/3	0.89	2.26	60.96	MP	70.5	21.0	8.5	0.04
	38	0-30	10YR3/3	10YR6/3	0.84	2.22	62.16	P	54.0	35.0	11.0	0.05
12	39	30-60	10YR3/3	10YR6/3	0.78	2.10	62.66	MP	60.0	39.0	11.0	0.05
	40	60-90	10YR3/3	10YR6/3	0.74	2.14	65.42	P	54.0	36.0	10.0	0.05
	41	0-30	10YR3/3	10YR5/3	0.98	2.28	57.02	MP	65.5	23.5	11.0	0.08
13	42	30-60	10YR3/3	10YR5/3	1.06	2.29	53.71	MP	77.0	14.5	8.5	0.07
	43	60-90	10YR3/3	10YR5/3	0.87	2.26	61.50	MP	67.0	24.0	9.0	0.09
	44	0-30	10YR4/4	10YR6/3	0.77	2.03	62.07	MP	63.5	28.0	8.5	0.33
14	45	30-60	10YR4/4	10YR6/3	0.72	2.04	64.71	MP	62.5	29.0	8.5	0.12
	46	60-90	10YR4/4	10YR6/4	0.62	2.04	69.67	MP	63.5	28.5	7.0	0.26

† Prof. = profundidad; ‡ Perm. = permeabilidad, P = permeable, MP = muy permeable; § CE = conductividad eléctrica.

En todas las muestras la clase textural fue migajón arenosa.

la fracción orgánica, lo que es favorable para el desarrollo de las raíces de los árboles de aguacate, cuyo crecimiento se localiza principalmente a 210 cm de profundidad (Salazar, 2002).

Características Químicas de los Suelos

Los valores de pH del suelo tienden a la neutralidad, variando de 6.4 a 7.4 (Cuadro 3). En este sentido, los valores de pH detectado en este trabajo son más altos que los mencionados para algunos Andisoles de México. Al respecto, Alcalá *et al.* (2001), Campos *et al.* (2001), Cruz *et al.* (2001) y Aguilar *et al.* (2003) mencionan valores de pH de 4.9 a 6.9, de 4.8 a 6.6, de 5.4 y de 5.3 en Andisoles, de la Meseta Tarasca del estado de Michoacán; de montaña, del volcán Cofre de Perote, estado de Veracruz, Sierra Tarasca en el estado de Michoacán y sierra veracruzana, respectivamente. En este sentido, como se observa en el Cuadro 3, el pH de los suelos tiende a la neutralidad. Este comportamiento contribuye a crear las condiciones adecuadas para el desarrollo del aguacate (Rodríguez, 1992; Salazar, 2002).

La CE varió de 0.02 a 0.33 dS m⁻¹ (Cuadro 2), por lo que estos suelos no tienen problemas de salinidad (Richards, 1954).

Los cationes intercambiables Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺ y K⁺ fluctuaron de 5.20 a 14.10, de 1.18 a 7.50, de 1.0 a 2.63 y de 0.50 a 2.40, con valores promedio de 8.66, 4.16, 1.70 y 1.43 cmol_c kg⁻¹, respectivamente. De acuerdo con Etchevers *et al.* (1971) y tomando en cuenta los valores promedio de los cationes intercambiables antes mencionados, el Ca se detectó en concentraciones altas en los perfiles 9, 11, 12, 13 y 14; el resto de los perfiles presenta concentraciones medias de Ca, ya que los mismos autores consideran que cantidades de 5 a 10 y >10 cmol_c kg⁻¹ corresponden a valores medios y altos, respectivamente (Cuadro 3). Por otra parte, los valores promedio de Mg y K fueron altos, ya que rebasan los valores de 3.0 y 0.6 cmol_c kg⁻¹ para Mg y K (Cuadro 3), respectivamente; con excepción de los perfiles 5 y 9 que presentaron valores medios de K (Etchevers *et al.*, 1971). Los valores de los cationes intercambiables coinciden con las capacidades medias de intercambio catiónico (CIC) que se detectan en la mayoría de los perfiles analizados (Cuadro 3). Esto mismo se aprecia aun en los perfiles 3, 6, 7, 9, 13 y 14, en los que se detectaron los valores más altos de CIC, que superan ligeramente el intervalo de 15 a 20 cmol_c kg⁻¹ propuestos por Cottenie

(1980) para valores medios. Esta interpretación coincide también con lo propuesto por Fassbender y Bornemisza (1987), quienes mencionan valores medios de CIC del orden de 20.0 cmol_c kg⁻¹ para Andisoles de América Central.

La CIC de los suelos varió de 13.07 a 24.0 cmol_c kg⁻¹ (Cuadro 3); estos valores, según Cottenie (1980), se clasifican de medios a altos. Los valores promedio de esta variable en ambos perfiles, de acuerdo con el mismo autor, corresponden a niveles medios, con excepción de las últimas profundidades en los perfiles 3, 4, 6 y 7, donde se presentaron valores altos, mientras que, en los perfiles 9, 12, 13 y 14, la CIC rebasó ligeramente los 20 cmol_c kg⁻¹ (Cuadro 3), para una clase media según los límites propuestos por Cottenie (1980). El aumento de la CIC y de las bases intercambiables con la profundidad se debe, principalmente, al material parental rico en compuestos ferromagnesianos, a la lixiviación de Ca, Mg, Na y K y al porcentaje de arcillas que aumenta ligeramente con la profundidad (Cuadro 3).

En general, la CIC aumenta con la profundidad, como resultado de un ligero aumento en el porcentaje de arcilla, que se refleja en el nivel de saturación de bases que aumenta con la profundidad; con excepción de los perfiles 8, 9, 11, 12 y 14 donde la CIC es más homogénea en el perfil (Cuadros 2 y 3). Este comportamiento de la CIC es común en Andisoles, ya que, como menciona Wada (1985), esta propiedad varía de un horizonte a otro y, en cada uno de ellos, depende del contenido y el tipo de minerales, la arcilla y los componentes orgánicos.

Los valores de MO fluctuaron de 0.04 a 2.02%; estos valores, con excepción de los detectados en la capa superficial del perfil 13, se clasifican como muy pobres, siendo inferiores a 2% que es considerado para Andisoles de América Central por algunos autores (Fassbender y Bornemisza, 1987). Los valores de MO obtenidos en el presente trabajo son semejantes a los detectados por Venegas *et al.* (2000), quienes mencionan cantidades de 0.70, 1.10, 1.90 y 2% para suelos de las localidades de San Felipe, Paracho, Santa Cruz y Puente Q. en la Sierra Tarasca, estado de Michoacán. Son similares también a los valores detectados por Alcalá *et al.* (2001), quienes detectaron cantidades que fluctuaron entre 0.4 y 2.2% en los perfiles 6 y 11 en la Meseta Tarasca en el mismo estado. En este sentido, los valores bajos de MO en los suelos de la zona de estudio se deben a una influencia antropogénica, representada por el sobrepastoreo y la quema de los pastizales, que ha sido la causa de la desaparición de la vegetación natural. Este hecho ha

Cuadro 3. Características químicas y fisicoquímicas de los suelos de Nepantla, Edo. de México.

Perfil	Muestra	Prof.†	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	PSB‡	CIC§	MO	NT	P	Fij. P	Fe	Cu	Mn	Zn
	cm			cmol _c kg ⁻¹				%	cmol _c kg ⁻¹	%		mg kg ⁻¹	%	mg kg ⁻¹			
1	1	0-18	7.0	5.20	3.60	1.54	0.76	85	13.07	1.24	0.07	12.95	91	35.0	3.0	9.5	2.0
	2	18-30	6.9	5.20	2.20	1.33	1.37	72	14.00	0.82	0.05	0.000	94	84.0	3.0	11.0	3.0
	3	30-60	6.8	7.80	3.20	1.68	1.69	72	20.00	0.39	0.02	0.000	94	66.0	3.0	7.0	1.5
	4	60-90	7.3	8.30	4.00	1.58	1.37	80	19.00	0.39	0.03	0.000	-	47.0	4.0	6.0	1.5
2	5	0-15	6.7	6.20	2.10	1.50	1.60	81	14.01	1.38	0.09	12.95	91	51.0	2.0	13.0	3.0
	6	15-30	7.1	7.80	5.70	1.63	1.70	84	19.90	0.32	0.03	0.000	94	79.0	3.0	6.0	2.0
	7	30-60	7.0	7.80	5.70	1.45	1.60	86	19.20	0.18	0.02	0.000	94	63.0	3.0	5.0	3.0
	8	60-90	7.0	7.00	5.00	1.63	1.47	79	19.00	0.25	0.02	0.000	-	47.0	2.0	5.0	1.0
3	9	0-30	6.9	5.20	4.70	1.39	0.85	82	14.73	1.73	0.07	0.000	93	76.0	3.0	14.0	2.0
	10	30-60	6.8	5.72	3.60	1.28	1.28	52	23.00	0.32	0.03	0.000	94	52.0	2.0	7.0	2.0
	11	60-90	6.9	6.00	4.00	1.22	2.10	56	24.00	0.32	0.02	0.000	-	41.0	2.5	5.0	2.0
4	12	0-30	6.7	7.80	4.20	1.54	1.34	83	17.92	0.74	0.05	0.000	93	64.0	7.0	19.0	25.0
	13	30-60	6.8	6.24	4.26	1.28	1.21	65	20.00	0.25	0.02	0.000	94	56.5	3.5	6.5	2.0
	14	60-90	7.1	6.24	4.70	1.41	0.83	55	24.00	0.25	0.02	0.000	-	40.0	2.5	8.0	2.0
	15	0-30	7.4	8.30	2.60	1.54	0.98	89	15.01	0.89	0.06	0.000	93	36.0	2.0	10.0	2.0
5	16	30-60	7.2	8.30	2.60	1.80	1.35	94	14.60	0.25	0.03	0.000	94	41.5	2.0	5.0	1.0
	17	60-90	7.0	8.80	4.60	1.17	2.38	99	17.00	0.25	0.03	0.000	-	41.0	4.0	6.0	2.0
	18	0-21	7.2	5.72	4.00	1.54	0.50	91	14.89	0.96	0.06	12.95	91	70.0	2.0	8.0	2.0
6	19	21-30	7.4	8.30	5.20	2.13	2.17	90	20.46	0.25	0.03	0.000	94	58.0	3.0	6.0	2.0
	20	30-60	7.4	9.40	5.20	1.45	2.17	81	22.54	0.25	0.01	0.000	94	42.0	3.0	5.0	2.0
	21	60-90	7.2	9.00	6.50	1.85	1.82	89	21.52	0.32	0.02	0.000	-	31.0	2.5	4.5	1.5
	22	0-30	7.2	6.24	2.26	2.00	1.28	62	19.00	0.74	0.05	0.000	94	48.0	4.0	8.0	1.5
7	23	30-60	6.9	6.00	6.20	1.63	1.98	67	23.46	0.25	0.02	0.000	94	33.5	3.0	10.10	1.5
	24	60-79	7.0	7.00	6.60	2.22	1.70	92	19.07	0.18	0.02	0.000	-	30.0	2.0	4.0	1.0
	25	79-90	7.2	8.00	7.50	2.35	1.80	83	23.77	0.18	0.02	0.000	-	24.5	2.0	5.0	1.0
	26	0-30	6.7	8.32	3.18	1.50	1.13	71	20.00	1.24	0.07	52.50	94	45.0	3.0	13.0	2.5
8	27	30-60	6.8	9.40	4.70	2.04	1.13	91	19.00	0.46	0.03	0.000	92	38.0	3.0	6.0	1.0
	28	60-90	6.8	7.00	3.50	1.95	1.18	68	20.00	0.25	0.02	0.000	-	39.0	2.0	5.0	1.5
	29	0-30	6.4	10.00	1.18	2.00	0.88	64	22.00	0.46	0.03	52.50	84	43.0	2.0	10.0	1.0
9	30	30	7.2	11.00	1.52	2.10	1.23	75	21.00	0.25	0.02	0.000	92	34.0	2.0	5.0	1.0
	31	60-90	6.7	12.00	2.56	1.39	1.63	84	21.00	0.25	0.01	0.000	-	27.0	2.0	6.0	1.5
	32	0-30	6.7	8.32	2.18	1.98	1.41	81	17.15	1.45	0.07	52.50	84	42.0	5.0	16.0	3.0
10	33	30-60	6.8	9.00	3.10	2.08	1.44	87	18.00	0.39	0.02	0.000	92	35.0	3.0	7.0	1.5
	34	60-90	6.7	9.00	5.00	1.65	1.85	96	19.31	0.32	0.02	0.000	-	35.0	3.0	6.0	2.0
	35	0-30	6.6	9.40	4.70	1.98	1.15	88	19.67	1.24	0.08	52.50	84	30.0	3.0	15.0	4.0
11	36	30-60	6.8	11.00	4.00	2.20	1.65	89	21.11	0.32	0.02	0.000	92	36.0	2.0	6.0	2.0
	37	60-90	6.8	9.00	4.00	2.63	1.99	96	18.42	0.32	0.02	0.000	-	32.5	3.5	5.0	2.0
	38	0-30	6.9	10.40	5.70	2.00	1.10	92	20.98	1.03	0.03	91.00	77	24.0	4.0	18.0	7.0
12	39	30-60	7.1	10.40	2.10	1.00	1.20	70	21.00	0.39	0.03	35.00	83	20.0	3.0	12.0	3.0
	40	60-90	7.1	12.50	5.70	1.40	1.10	99	20.00	0.18	0.02	0.000	-	16.0	3.0	8.0	2.0
	41	0-30	6.9	14.60	6.20	1.40	0.80	92	25.08	2.02	0.12	280.0	59	19.0	2.0	24.0	40.0
13	42	30-60	6.9	8.80	3.10	1.80	0.80	93	22.10	0.04	0.04	129.5	74	25.0	2.0	12.5	7.0
	43	60-90	6.7	10.90	4.00	1.90	2.40	91	21.20	0.89	0.05	0.000	-	19.5	3.0	13.0	8.0
	44	0-30	6.6	15.10	3.60	1.30	1.70	90	24.08	0.04	0.04	280.0	59	27.0	5.0	8.0	6.0
14	45	30-60	6.8	11.00	6.00	2.00	1.40	90	22.71	0.18	0.02	129.5	74	20.5	3.5	4.0	3.0
	46	60-90	6.6	14.10	5.00	1.90	1.50	93	24.00	0.39	0.03	0.000	-	23.0	4.0	6.0	5.0

† Prof. = profundidad; ‡ = PSB = Porcentaje de saturación de bases, CIC = capacidad de intercambio de cationes, MO = materia orgánica, NT = nitrógeno total, Fij. P = fijación de fósforo.

orillado al abandono de algunos huertos aguacateros, donde los rendimientos son bajos. Por otra parte, según la WRB (ISSS-ISRIC-FAO, 2006), el contenido de MO (Cuadro 3) y el grado de desarrollo de los suelos de la zona de estudio indican que los perfiles 1, 2, 4, 5, 6, 7, 9 y 14 corresponden a Andisoles ócricos (ANo), y los perfiles 3, 8, 10, 11, 12 y 13 se clasifican como Andisoles mólicos (ANm).

En este sentido, las cantidades de MO detectadas en la zona de estudio son congruentes con los valores de NT, que fluctuaron de 0.01 a 0.12% (Cuadro 3); estos valores, con excepción de la capa superficial del perfil 13, el cual presentó cantidades medias de este constituyente, se clasifican como extremadamente pobres y pobres (Vázquez, 1999). Sin embargo, las cantidades de NT detectadas en la mayoría de las profundidades coinciden con las cantidades mencionadas por Fassbender y Bornemisza (1987) en el horizonte B de Andisoles de América Central que, en promedio, son de 0.037%. Por otra parte, las cantidades de NT detectadas en este trabajo son inferiores a las detectadas en Andisoles de la Sierra Tarasca, en el estado de Michoacán, por Venegas *et al.* (2000) y Rodas *et al.* (2001), quienes mencionan concentraciones de 0.08 a 0.70 y de 0.42%, respectivamente.

Los valores de P asimilable, que fluctuaron de 5 a 280 mg kg⁻¹, disminuyen con la profundidad, destacando los perfiles 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7, donde este elemento se detectó en cantidades bajas, que coinciden con las detectadas por Venegas *et al.* (2000), Rodas *et al.* (2001) y Aguilar *et al.* (2003) en varios Andisoles de la Sierra Tarasca, estado de Michoacán y la sierra Veracruzana, donde los valores variaron de trazas a 15.0, de 6.0 y de 0.62 mg kg⁻¹, respectivamente. Contrariamente en los perfiles 8, 9, 10, 11, 12, 13 y 14, el P se encontró en cantidades altas, principalmente en los últimos tres perfiles, ya que en estos terrenos se agregan continuamente fertilizantes orgánicos, lo que indica el porqué de las concentraciones más altas de P detectadas, que rebasan 30 mg kg⁻¹ (Cuadro 3), clasificados como nivel alto por Vázquez (1999). En general, los valores bajos de P asimilable en los suelos estudiados se relacionan con los altos porcentajes de retención de P de estos suelos, que fluctuaron entre 59 y 94%, que son semejantes a los detectados por Venegas *et al.* (2000) y Alcalá *et al.* (2001) en Andisoles de la Sierra Tarasca y la Meseta Tarasca, estado de Michoacán, con valores de 59.26 a 99.87% y de 51.0 a 99.0%, respectivamente. Al respecto, los altos valores de la retención de P, así como

la disponibilidad de este elemento en Andisoles, se han atribuido fundamentalmente al contenido de aluminio (Al) y Fe de los complejos orgánico-minerales de humus-Al, relacionados con el alófono (Wada, 1989; Shoji *et al.*, 1996; Aguilar *et al.*, 2003).

Acerca de los micronutrientes Fe, Cu, Mn y Zn asimilables, los resultados obtenidos fueron de 16 a 84; de 2 a 7; de 4 a 24, y de 1 a 40 mg kg⁻¹, respectivamente (Cuadro 3).

Los valores de Fe y Cu en los suelos, de acuerdo con Vázquez (1999) son altos y muy altos para ambos elementos, dominando las concentraciones muy altas, principalmente en los primeros horizontes, ya que la mayoría de las cantidades detectadas supera los 25 y 2.5 mg kg⁻¹ de Fe y Cu, respectivamente (Cuadro 3). En cambio, los suelos son bajos en Mn y Zn en la mayoría de los sitios, con excepción de los perfiles 4, 10, 11, 12 y 13 en las capas superficiales. En estos suelos, las cantidades detectadas corresponden a un nivel o clase media, tanto de Mn como de Zn (Cuadro 3). Por otra parte, los valores detectados de Mn en este trabajo coinciden con los detectados por Aguilar *et al.* (2003) en la sierra veracruzana quien menciona 7.7 mg kg⁻¹. Respecto a los valores detectados de Zn en los perfiles 13 y 14, con excepción de la profundidad de 30 a 60 cm, corresponden a clase alta, ya que estas cantidades están dentro de la concentración de 5 a 8 mg kg⁻¹, considerada por Vázquez (1999) como valores altos (Cuadro 3).

Los valores obtenidos de Fe, Cu, Mn y Zn en los suelos estudiados son más altos que los detectados por Rodas *et al.* (2001) en Andisoles de la Meseta Tarasca, estado de Michoacán, que son de 18, 0.4, 6.0 y 0 mg kg⁻¹ para Fe, Cu, Mn y Zn, respectivamente.

Finalmente, como en el caso de MO, NT, P y micronutrientes se detectaron en cantidades relativamente adecuadas en los perfiles 12, 13 y 14, como resultado de la aplicación de abonos orgánicos, lo que ha sido benéfico para el desarrollo del aguacatero.

Análisis Foliar

Nitrógeno. Las concentraciones de este elemento, de 0.22 a 1.63%, resultaron bajas al compararlas con los criterios de Lemus *et al.* (2005), quienes mencionan valores de 1.6 a 2.8% como normales para el aguacate. Los resultados indican que, tanto en el suelo como en las hojas, este elemento se detectó en cantidades bajas (Cuadro 4).

Estos resultados coinciden con las observaciones fenotípicas de las plantas, ya que denotan deficiencias de este nutrimento.

Fósforo. Como en el caso del nitrógeno, se le encontró en cantidades bajas, de 0.05 a 0.10%, a consecuencia de la fuerte retención de P (Cuadro 4), que ocurre, como ya se indicó, por su interacción con los minerales alofánicos del suelo. Según Lemus *et al.* (2005), los valores normales de P en el aguacate fluctúan entre 0.08 y 0.25%. Al comparar estos valores, sobre todo en las muestras de la 1 a la 11, se aprecia que las cantidades encontradas en este estudio son inferiores a las mencionadas por dichos autores. Las muestras 12, 13 y 14, aunque con valores bajos, quedan dentro de los valores propuestos por los autores anteriores (Cuadro 4). Estos sitios coinciden con las áreas donde se han agregado abonos orgánicos.

Potasio. Las cantidades de K variaron de 0.39 a 0.90% (Cuadro 4), y se consideran bajas, de acuerdo con Lemus *et al.* (2005). Los valores normales para el aguacate fluctúan entre 0.90 y 2%; en este sentido, las plantas analizadas muestran una asimilación baja de K, principalmente en los sitios 4, 10, 3, 5 y 6, que coinciden con los suelos donde se detectaron las cantidades más bajas. Sin embargo, en los sitios 12, 13, 14 y 1, las concentraciones fueron más altas, siendo muy semejantes a las cantidades de K requeridas por el aguacate.

Calcio, Magnesio y Azufre. Las concentraciones de Ca fluctuaron entre 0.50 y 1.40% (Cuadro 4). Estas cantidades son consideradas normales, ya que rebasan

0.5% estimados por Lemus *et al.* (2005) como valor deficiente para el desarrollo del aguacate.

El Mg foliar se detectó en concentraciones normales (de 0.19 a 0.32%), ya que Lemus *et al.* (2005) mencionan concentraciones de 0.25 a 0.80% como normales para el aguacate. En este sentido, las concentraciones de Ca, Mg, N, P y K que aparecen en el Cuadro 4 son más bajas que las detectadas por Figueroa *et al.* (2001) en hojas de aguacatero Fuerte, que son de 1.88, 0.46, 1.77, 0.19 y 0.98% para Ca, Mg, N, P y K, respectivamente. El azufre (S) se encontró en concentraciones del orden de 0.19 a 0.29%, valores dentro del intervalo de 0.20 y 0.60%, considerado también por Lemus *et al.* (2005) como normal para el desarrollo del aguacate (Cuadro 4).

Sodio y Cloro. El Na y el Cl en el aguacate se detectaron en concentraciones de 2.0 a 4.6 mg kg⁻¹ y de 0.096 a 0.27%, respectivamente (Cuadro 4). Según Lemus *et al.* (2005), se desconocen los valores normales de Na y Cl en el aguacate. Sin embargo, estos autores mencionan que un intervalo de 0.25 a 0.50% corresponde a concentraciones excesivas para ambos elementos. Tomando en cuenta los valores de Na y Cl que aparecen en el Cuadro 4, y de acuerdo con los autores antes mencionados, estas cantidades no representan problemas de toxicidad en la zona de estudio.

Hierro, Cobre, Zinc, Boro, Manganeseo y Molibdeno.

Las cantidades de Fe variaron de 32 a 120 mg kg⁻¹ (Cuadro 4). Estos valores, con excepción de los detectados en las muestras 3, 6, 8, 9 10 y 11 son deficientes para el desarrollo del aguacate (Lemus *et al.*, 2005).

Cuadro 4. Análisis foliar del aguacatero.

Muestra	N	P	K	Ca	Mg	Na	S	Cl	Fe	Cu	Mn	Zn	B	Mo
	%			mg kg ⁻¹			%		mg kg ⁻¹					
1	0.91	0.07	0.90	1.2	0.25	2.20	0.27	0.123	34.0	5.0	130.0	11.0	1.8	1.0
2	0.95	0.06	0.60	0.70	0.32	2.60	0.27	0.114	32.0	5.0	90.0	10.0	1.4	1.0
3	1.35	0.05	0.50	0.70	0.20	4.00	0.19	0.149	41.0	4.0	80.0	11.0	1.7	1.0
4	1.36	0.05	0.39	0.70	0.25	2.00	0.35	0.096	32.0	5.0	38.0	10.0	1.0	1.0
5	0.81	0.05	0.50	0.70	0.19	4.60	0.24	0.131	30.0	5.0	37.0	9.0	1.0	1.0
6	0.82	0.06	0.50	1.40	0.20	4.60	0.28	0.131	120.0	5.0	150.0	11.0	1.8	1.0
7	0.22	0.05	0.60	0.40	0.26	3.20	0.21	0.131	39.0	4.0	90.0	10.0	1.9	1.0
8	0.76	0.06	0.65	0.70	0.27	3.20	0.26	0.140	51.0	4.0	120.0	27.0	1.5	1.0
9	0.75	0.06	0.60	0.70	0.27	2.80	0.24	0.131	44.0	6.0	90.0	11.0	1.5	1.0
10	1.30	0.06	0.40	0.90	0.28	2.60	0.24	0.160	49.0	6.0	110.0	11.0	1.5	1.0
11	1.20	0.07	0.60	0.60	0.25	3.80	0.29	0.160	44.0	5.0	90.0	18.0	1.5	1.0
12	1.63	0.08	0.70	0.50	0.28	2.60	0.19	0.190	36.0	6.0	29.0	10.0	1.5	1.0
13	1.55	0.09	0.70	0.70	0.25	2.80	0.25	0.160	38.0	6.0	28.0	12.0	1.5	1.0
14	0.65	0.10	0.80	1.20	0.22	3.80	0.23	0.270	40.0	6.0	29.0	23.0	1.5	1.0

Los valores de Cu variaron de 4.0 a 6.0 mg kg⁻¹, concentraciones que están dentro de los intervalos normales mencionados por Lemus *et al.* (2005) para el aguacate. Sin embargo, las concentraciones de Zn y B, que variaron de 90 a 27 y de 1 a 1.9 mg kg⁻¹, respectivamente, denotan deficiencias en estos elementos (Lemus *et al.*, 2005). En este sentido, los valores detectados de Zn y B en este trabajo son más bajos que los reportados por Figueroa *et al.* (2001), quienes mencionan cantidades de 51.42 y 35.04 mg kg⁻¹ para Zn y B, respectivamente. Estas deficiencias se deben a que el Zn es fácilmente lixiviable, sobre todo en suelos permeables, como es el caso de la zona de estudio. Respecto a las deficiencias de B, éstas probablemente se deban tanto al pH como a su pérdida por lixiviación como en el caso del Zn (Mortvedt *et al.*, 1990).

Las concentraciones de Mn variaron de 28 a 150 mg kg⁻¹ (Cuadro 4). Las cantidades más altas de este elemento se detectaron en las primeras 11 muestras analizadas; sin embargo, en general, de acuerdo con Lemus *et al.* (2005), no se presentan deficiencias de Mn en las hojas de aguacate.

En cuanto al Mo, los valores encontrados (Cuadro 4) corresponden a niveles normales (Rodríguez, 1992).

Agua de Riego

El pH del agua de riego de la zona de estudio fluctuó entre 8.3 y 8.8, por lo que se trata de agua de calidad media. Con base en los valores de la CE, que variaron de 0.09 a 0.16 dS m⁻¹, esta agua es de buena calidad y sin problemas de salinidad (Richards, 1954).

Por el contenido de B, el agua de riego estudiada es de buena calidad, ya que las cantidades fueron de 0.05 a 0.20 mg L⁻¹ (Cuadro 5). Al respecto, Vázquez (1999) menciona que concentraciones inferiores a 0.3 mg L⁻¹ corresponden a los niveles de agua de riego de buena calidad.

Los cloruros se encontraron en una escala de 0.30 a 0.40 me L⁻¹ por lo que, en relación con este elemento, el agua se considera de buena clase (Richards, 1954).

Las concentraciones de carbonatos y bicarbonatos fluctuaron entre 0 y 0.40 y entre 1.6 y 1.90 me L⁻¹, respectivamente. Según Vázquez (1999), únicamente por la concentración de bicarbonatos, el agua de riego es de calidad media, ya que este autor propone valores entre 1.5 y 8.5 me L⁻¹ para agua de esta calidad.

Finalmente, tomando en cuenta las características químicas del agua, ésta pertenece a la clase C1S1, que significa que se puede utilizar para riego del aguacatero sin restricción alguna (Richards, 1954).

CONCLUSIONES

- El perfil tipo corresponde a un Andisol mólico, no obstante, en la zona de estudio existe una asociación de Andisoles mólicos y ócricos con un horizonte de diagnóstico poco desarrollado, una densidad baja, textura de tipo migajón arenosa y un buen drenaje.
- Son suelos con valores de Ca, Mg, K y una capacidad de intercambio catiónico (CIC) que fluctúan entre medios y altos. Cabe resaltar que los valores detectados de estas variables corresponden a los de un suelo forestal; sin embargo, se consideran adecuados para el desarrollo normal de especies frutícolas.
- En general, los Andisoles ócricos son muy pobres en materia orgánica (MO); las concentraciones de P asimilable se detectaron de bajas a altas; las cantidades de Fe y Cu asimilables fueron altas y los valores de Mn y Zn se detectaron en niveles bajos.
- Las concentraciones de Mg, Na, S, Cl y Mo, analizadas en las hojas del aguacatero, se detectaron en cantidades normales; sin embargo, las concentraciones de N, P, K y B resultaron deficientes. Las deficiencias de estos elementos, con excepción del K, en general, concuerdan con los bajos niveles de estos mismos elementos en el suelo.

Cuadro 5. Calidad química del agua de riego de Nepantla, Edo. de México.

Muestra	pH	CE dS m ⁻¹	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	B mg L ⁻¹
			----- meq L ⁻¹ -----								
1	8.7	0.12	0.73	0.41	0.43	1.12	0.40	1.80	0.30	0.01	0.20
2	8.4	0.09	0.60	0.45	0.39	0.77	0.00	1.90	0.30	0.02	0.05
3	8.3	0.16	1.10	0.45	0.49	0.15	0.20	1.70	0.40	0.02	0.05
4	8.8	0.11	0.75	0.41	0.92	0.27	0.40	1.60	0.40	0.02	0.05

- El agua de riego resultó de buena calidad, ligeramente alcalina y sin problemas de salinidad.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Jorge E. Gama Castro, por su valiosa colaboración en el trabajo de campo y la clasificación de suelos, a M. en C. Arelia González Velásquez por su apoyo logístico, y a Magdalena Alcayde por la revisión del manuscrito.

LITERATURA CITADA

- Aguilar A., J. L., R. López M., R. Núñez E. y A. K. Gardezi. 2003. Encalado y fertilización fosfatada en el cultivo de papa en un Andosol de la sierra Veracruzana. *Terra* 21: 417-426.
- Alcalá J., M., C. Ortiz S. y M. Gutiérrez C. 2001. Clasificación de los suelos de la meseta Tarasca, Michoacán. *Terra* 19: 227-239.
- APHA-AWWA-WPCF. 2005. Standard methods for examination of water and wastewater. Amer. Pub. Health Assoc. Washington, DC, USA.
- Blakemore, L. C., P. L. Searle, and B. K. Daly. 1987. Methods for chemical analysis of soils. N. Z. Soil Bureau Scientific Report 80. Soil Bureau. Lower Hutt, New Zealand.
- Campos C., A., K. Oleschko, L. Cruz H., J. D. Etchevers B. y C. Hidalgo M. 2001. Estimación de alófono y su relación con otros parámetros químicos en Andisoles de montaña del volcán Cofre de Perote. *Terra* 19: 105-116.
- Cottenie, A. 1980. Los análisis de suelos y plantas como base para formular recomendaciones sobre fertilizantes. Boletín de suelos de la FAO 38/2. FAO. Roma, Italia.
- Cruz F., G., J. L. Tirado T., G. Alcántar G. y J. A. Santizo R. 2001. Eficiencia de uso de fósforo en triticale y trigo en dos suelos con diferente capacidad de fijación de fósforo. *Terra* 19: 47-54.
- Etchevers B., J. D., G. Espinoza, y E. Riquelme Y. 1971. Manual de fertilidad y fertilizantes. 2a ed. Universidad de Concepción, Facultad de Agronomía. Chillan, Chile.
- Fassbender, H. W. y E. Bornemisza. 1987. Química de suelos. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica.
- Figuroa R., M., A. M. Castillo G., E. Avitia G. y J. L. Tirado T. 2001. Concentración nutrimental en hojas e inflorescencias de tres cultivares de aguacatero. *Terra* 19: 127-132.
- García, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. 5a ed. Serie Libros. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 1987. Síntesis geográfica del Estado de México. INEGI. México, D. F.
- ISSS-ISRIC-FAO (International Soil Science Society-International Soil Reference and Information Centre-Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2006. World reference base for soil resources. FAO. Roma, Italia.
- Jackson, L. M. 1982. Análisis químico de suelos. Ed. Omega. Barcelona, España.
- Lemus S., G., R. Ferreyra E., P. Gil M., P. Maldonado B., C. Toledo G. y C. Barrera M. 2005. El cultivo del palto. Boletín 129. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Valparaíso, Chile.
- Lindsay, W. L. and W. A. Norvell. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42: 421-428.
- Mortvedt, J. J., P. M. Giordano y W. L. Lindsay. 1990. Micronutrientes en la agricultura. AGT Editores. México, D. F.
- Ramos N., J. A. 2003. Perspectivas de la red aguacate para el 2003. FIRA Banco de México. Dirección de Análisis de Cadenas Productivas y Serv. Téc. Especializados. México, D. F.
- Richards, L. A. 1954. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Limusa. México, D. F.
- Rodas C., A., R. Núñez E., V. Espinosa H. y G. Alcántar G. 2001. Asociación lupino-maíz en la nutrición fosfatada en un andosol. *Terra* 19: 141-154.
- Rodríguez S., F. 1992. El aguacate. AGT Editores. México, D.F.
- Salazar G., S. 2002. Nutrición del aguacate, principios y aplicaciones. Instituto de la Potasa y el Fósforo. Querétaro, Querétaro, México.
- Sánchez G., P. y P. Ramírez M. 2000. Fertilización y nutrición del aguacatero, pp. 103-113. *In:* D. Téliz (ed.). El aguacate y su manejo integrado. Mundi- Prensa. México, D. F.
- Shoji, S. M., R. A. Nanzyo, and R. A. Dahlgren. 1993. Volcanic ash soil: genesis, properties and utilization. *Developments in Soil Science* 21. Elsevier. Amsterdam, The Netherlands.
- Shoji, S. M., R. A. Nanzyo, R. A. Dahlgren, and P. Quantin. 1996. Evaluation and proposed revisions of criteria for andosols in the world reference base for soil resources. *Soil Sci.* 161: 604-615.
- Soil Survey Staff. 1999. Keys to soil taxonomy. 7th Edition. National Resources Conservation Service. US Department of Agriculture, Washington, DC, USA.
- Sparks, D. L. 1996. Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods. Soil Science Society of America. Madison, WI, USA.
- Vázquez A., A. 1999. Guía para interpretar el análisis químico del agua y suelo. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México.
- Venegas G., J., J. Cajuste L., A. Trinidad S. y F. Gavi R. 2000. Correlación y calibración de soluciones extractantes del fósforo aprovechable en Andisoles de la sierra Tarasca. *Terra* 17: 287-291.
- Wada, K. 1985. The distinctive properties of Andisols. *Adv. Soil Sci.* 2: 173-229.
- Wada, K. 1989. Allophane and imogolite. pp. 1051-1081. *In:* G. B. Dixon and S. B. Wedd (eds.). Minerals in soil environments. Soil Science Society of America. Madison, WI, USA.